

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年6月10日 (10.06.2004)

PCT

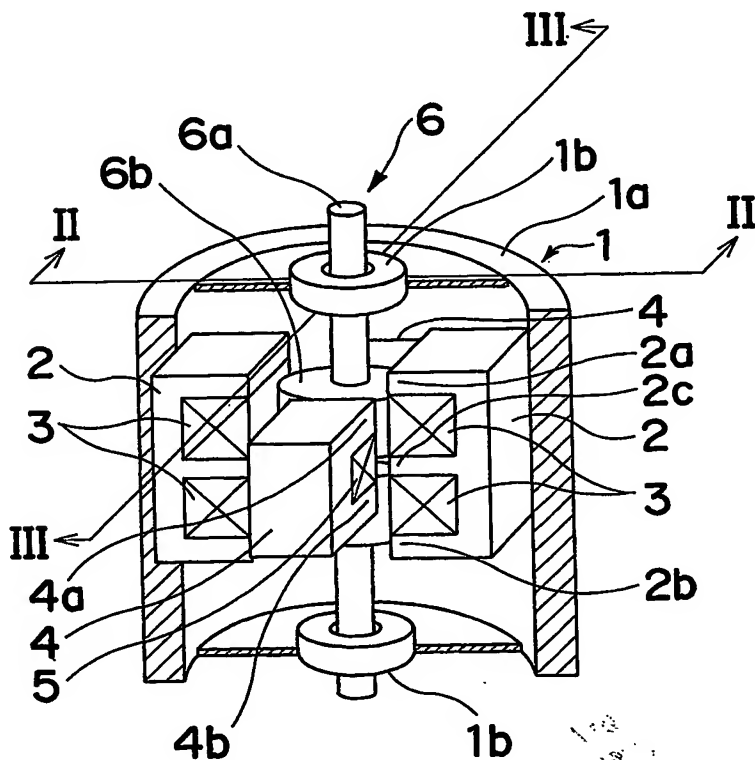
(10) 国際公開番号
WO 2004/049547 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H02K 33/02 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電工株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD.) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府門真市大字門真1048番地 Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/014987
- (22) 国際出願日: 2003年11月25日 (25.11.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2002-342760 2002年11月26日 (26.11.2002) JP
特願 2002-342761 2002年11月26日 (26.11.2002) JP
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長谷川 祐也 (HASEGAWA, Yuya) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 平田 勝弘 (HIRATA, Katsuhiko) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 光武 義雄 (MITSUTAKE, Yoshio) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 太田 智浩 (OTA, Tomohiro) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府門真市大字門真

[続葉有]

(54) Title: ACTUATOR

(54) 発明の名称: アクチュエータ



(57) Abstract: An actuator has a case, fixed element member having a coil member and fixed in the case, and a moving element member including a moving element and supported by the case. The moving element has a shaft and supported by the case so as to be movable in the axial direction of the shaft and rotatable about the axis of the shaft as the axis of the rotation. Further, when electricity is passed through the coil member, the moving element moves in the axial direction and rotational direction. The fixed element member has a first fixed element member for applying an axial force to the moving element member and a second fixed element member for applying a rotational force to the moving element member. The coil member includes a first coil member for exciting a first magnetic path that passes the first fixed element member and a second coil member for exciting a second magnetic path that passes the second fixed element member. Thus the degree of freedom of operation control of the actuator is increased, and vibration induced by an axial inertia force is reduced.

(57) 要約: ケースと、コイル部材を有すると共にケース内に固定される固定子部材と、可動子を含むと共にケースに支

持される可動子部材とを備え、また、可動子は、シャフトを有すると共に、シャフトの軸方向とシャフトの軸方向を回転軸心とする回転方向に運動し得るようにケースに支持され、更に、コイル部材に電流を流すことにより、可動子が軸方向と回転方向に運動するアクチュエータにおいて、固定子部材は、可動子部材に軸方向の力を与える第1の固定子部材と、可動子部材に回転方向の力を与える第2の固定子部材とを備え、また、コイル部材は、第1の固定子部材を通る第1磁路を励磁する第1のコイル部材と第2の固定子部材を通る第2磁路を励磁する第2のコイル部材を含んで、アクチュエータの動作制御の自由度を向上すると共に、軸方向の慣性力による振動を低減する。

WO 2004/049547 A1



1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 本橋良 (MOTOHASHI,Ryo) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 国田 智裕 (KUNITA,Tomohiro) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 清水 宏明 (SHIMIZU,Hiroaki) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 薮内 英一 (YABUUCHI,Hidekazu) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP). 西中 孝宏 (NISHINAKA,Takahiro) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1048番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 河宮 治, 外(KAWAMIYA,Osamu et al.); 〒540-0001 大阪府 大阪市中央区 城見 1丁目 3番 7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

アクチュエータ

5 技術分野

本発明は、軸方向と回転方向の2方向に運動することが可能なアクチュエータに関する。

背景技術

10 アクチュエータは、直線方向や回転方向など1方向の運動を行うものが多く、直線方向と回転方向との2方向に運動するようにするときには、運動方向を機械的に変換する運動方向変換機構が用いられる。しかしながら、運動方向変換機構は、運動方向を変換する際に騒音の原因となる。

15 特開2002-78310号公報は、シャフト（軸）を有する可動子（プランジャー）が空隙（ギャップ）を有して固定子（ヨーク）の内方に設けられ、コイルにより磁路を励磁して可動子がシャフトの軸方向に運動するリニアアクチュエータにおいて、可動子の軸方向の変位（ストローク位置）に対して空隙を不均一にすることにより、運動方向変換機構を用いずに、可動子がシャフトの軸方向（直線方向）と軸方向を回転軸心とする回転方向の運動を行う構成を開示している。

20 また、特開2002-199689号公報は、シャフト（軸）を有する第1の可動子（プランジャー）がケースに設けられる固定子（ヨーク）の内方に空隙（ギャップ）を有して設けられ、コイルにより磁路を励磁して第1の可動子がシャフトの軸方向に運動するリニアオシレータにおいて、第1の可動子の慣性力を打ち消す動作をする第2の可動子（振幅制御錘）を設けると共に、ケースと第1の可動子と第2の可動子との間にばね部材を設け、軸方向の変位（ストローク位置）に対して空隙を不均一にすることにより、運動方向変換機構を用いずにシャフトの軸方向の共振による往復運動と軸方向を回転軸心とする回転方向の運動とを行うと共に、軸方向の慣性力による振動を低減することのできる構成を開示している。

25 しかしながら、特開2002-78310号公報や特開2002-19968

9号公報に開示された構成は、騒音の原因となる運動方向変換機構を用いずに、簡単な構成で、可動子の軸方向の変位に応じて可動子が2方向の運動を行うことができるので有用であるが、空隙の形状により可動子の軸方向の運動と回転方向の運動との関係が固定されてしまうので、可動子の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御できるものではなく、動作制御の自由度が高いものではなかった。

発明の開示

本発明は、従来技術の上記問題点を解決するために、運動方向変換機構を用いずに、可動子が軸方向と回転方向の2方向に運動することが可能なアクチュエータにおいて、動作制御の自由度を向上することを目的とする。

上記目的を達成するために、本発明のアクチュエータは、ケースと、コイル部材を有すると共にケース内に固定される固定子部材と、可動子を含むと共にケースに支持される可動子部材とを備え、また、可動子は、シャフトを有すると共に、シャフトの軸方向とシャフトの軸方向を回転軸心とする回転方向に運動し得るようにケースに支持され、更に、コイル部材に電流を流すことにより、可動子が軸方向と回転方向に運動するアクチュエータにおいて、固定子部材は、可動子部材に軸方向の力を与える第1の固定子部材と、可動子部材に回転方向の力を与える第2の固定子部材とを備え、また、コイル部材は、第1の固定子部材を通る第1磁路を励磁する第1のコイル部材と第2の固定子部材を通る第2磁路を励磁する第2のコイル部材を含むものである。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施形態にかかるアクチュエータの部分断面斜視図である。

図2は、図1のI I-I I線における断面図である。

図3は、図1のI I I-I I I線における断面図である。

図4(A)と図4(B)は、夫々、図3のI V A-I V A線とI V B-I V B線における断面図である。

図5は、図1のアクチュエータの軸方向変位と推力の関係を示す特性図である。

図6は、図1のアクチュエータの回転角度とトルクの関係を示す特性図である。

図 7 は、図 1 のアクチュエータの変形例にかかるアクチュエータを示す、図 3 に対応する断面図である。

図 8 (A) と図 8 (B) は、夫々、図 7 の V I I I A - V I I I A 線と V I I I B - V I I I B 線における断面図である。

5 図 9 は、図 1 のアクチュエータの動作を示す波形図である。

図 10 は、図 1 のアクチュエータの別の動作を示す波形図である。

図 11 は、本発明の第 2 の実施形態にかかるアクチュエータの部分斜視図である。

図 12 は、図 11 のアクチュエータの平面図である。

10 図 13 は、本発明の第 3 の実施形態にかかるアクチュエータを示す、図 2 に対応する断面図である。

図 14 は、本発明の第 4 の実施形態にかかるアクチュエータを示す、図 2 に対応する断面図である。

15 図 15 は、図 14 のアクチュエータの軸方向変位と推力の関係を示す特性図である。

図 16 (A) と図 16 (B) は、夫々、本発明の第 5 の実施形態にかかるアクチュエータにおける第 1 の固定子に対する第 1 のコイルの 2 通りの巻き方を示す図である。

20 図 17 は、本発明の第 6 の実施形態にかかるアクチュエータを示す、図 2 に対応する断面図である。

図 18 は、本発明の第 7 の実施形態にかかるアクチュエータの部分断面斜視図である。

図 19 は、図 18 の X I X - X I X 線における断面図である。

図 20 は、図 18 の X X - X X 線における断面図である。

25 図 21 は、図 18 のアクチュエータの変形例にかかるアクチュエータを示す、図 20 に対応する断面図である。

図 22 は、本発明の第 8 の実施形態にかかるアクチュエータを示す、図 19 に対応する断面図である。

図 23 は、本発明の第 9 の実施形態にかかるアクチュエータを示す、図 19 に

対応する断面図である。

図 2 4 は、本発明の第 1 0 の実施形態にかかるアクチュエータを示す、図 1 9 に対応する断面図である。

図 2 5 は、本発明の第 1 1 の実施形態にかかるアクチュエータの縦断面図である。

図 2 6 は、図 2 5 のアクチュエータに用いられる軸方向アクチュエータの磁気構造を示す断面図である。

図 2 7 は、図 2 6 の軸方向アクチュエータ動作原理を説明する図である。

図 2 8 は、図 2 5 のアクチュエータに用いられる回転アクチュエータの磁気構造を示す破断斜視図である。

図 2 9 (A) と図 2 9 (B) は、夫々、図 2 8 の回転アクチュエータの固定子の上部磁極と下部磁極の磁化状態を示す図である。

図 3 0 は、図 2 5 のアクチュエータを動作させるための電圧波形図である。

図 3 1 は、図 2 5 のアクチュエータに用いられるシャフトの駆動軌跡を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の各実施形態について図面を参照して説明する。

(第 1 の実施形態)

図 1 乃至図 1 0 は、本発明の第 1 の実施形態にかかるアクチュエータを示す。

図 1 に示すように、このアクチュエータは、主に、ケース 1 と、各々に第 1 のコイル 3 を巻いた 1 対の第 1 の固定子 2 と、各々に第 2 のコイル 5 を巻いた 1 対の第 2 の固定子 4 と、可動子 6 とにより構成されている。可動子 6 は、シャフト 6 a と、シャフト 6 a に固着された駆動力発生部 6 b とを含む。

ケース 1 は、筐体部 1 a と 1 対の軸受け部 1 b を含むと共に、第 1 の固定子 2、第 2 の固定子 4 と可動子 6 を収納する。筐体部 1 a は、金属製の磁性材料により有底円筒形状に形成される。一方、軸受け部 1 b の各々は、断面が同心の円筒管の中空部に表面を滑らかに加工された金属球を入れたいわゆるボールベアリングである。2 個の軸受け部 1 b は、筐体部 1 a の中心軸心と軸受け部 1 b の中心軸心が一致するように、筐体部 1 a の両側の端面の中心に、夫々、設けられている。

更に、2個の軸受け部1 bは、可動子6のシャフト6 a、即ち、可動子6がシャフト6 aの軸方向（以下、「軸方向」と呼ぶ）と、軸方向を中心軸心、即ち、回転軸心とする回転方向（以下、「回転方向」と呼ぶ）とに運動を行えるように、金属球によりシャフト6 aを支持する。

5 第1の固定子2の各々は、磁性材料で断面がE字形の柱状に形成されたものであり、軸方向に対称に並ぶ3個の磁極部、即ち、両端の磁極部2 a及び2 bと中央の磁極部2 cを有する。2個の第1の固定子2は、回転軸心に対して対称に配置されるように、ケース1の筐体部1 aの中空部に固定されている。第1の固定子2の磁極部2 a～2 cは同じ幅と長さを有している。第1の固定子2において、
10 中央の磁極部2 cに第1のコイル3が巻かれており、第1のコイル3に電流を流すことにより、中央の磁極部2 cと両端の磁極部2 a及び2 bに異なる磁極が生じる。例えば、図2に示すように、中央の磁極部2 cにN極が生じれば、両端の磁極部2 a及び2 bにはS極が生じる。磁極部2 a～2 cが可動子6に対向するように位置するので、第1の固定子2は、漏れ磁束が少なく、効率のよい磁気回路を構成する。2個の第1の固定子2は、可動子6に主に軸方向の力を与えるために用いられる。

第1のコイル3は、第1の固定子2の中央の磁極部2 cに樹脂製のコイルボビン（図示せず）を介して巻かれる。第1のコイル3は、第1の固定子2と、第1の固定子2と可動子6の間の空隙と、可動子6とを通る磁路を励磁するものである。また、2個の第1の固定子2の一方に設けられている第1のコイル3の励磁と他方の第1の固定子2に設けられている第1のコイル3の励磁が逆位相となるように、第1のコイル3が接続される。例えば、図2に示すように、2個の第1の固定子2の一方の中央の磁極部2 cがN極に励磁されている時に、他方の第1の固定子2の中央の磁極部2 cがS極に励磁されるように、第1のコイル3が接続される。
25

第2の固定子4の各々は、磁性材料で断面がC字形の柱状に形成されたものであり、軸方向に対称に並ぶ2個の磁極部4 aと4 bを有する。2個の第2の固定子4は、回転軸心に対して対称に配置されるように、ケース1の筐体部1 aの中空部に固定されている。そして、図4（A）及び図4（B）に示すように、2個

の第1の固定子2を含む軸方向の平面と、2個の第2の固定子4を含む平面とは互いに直交するように設けられている。したがって、第1の固定子2と第2の固定子4との間隔が大きくなるので、第1のコイル3と第2のコイル5を設ける空間を大きくすることができる。そして、第2の固定子4の磁極部4aと4bは同じ幅と長さを有している。そして、図3に示すように、第2の固定子4の各々において、第2のコイル5が磁極部4aと4bに分割して巻かれており、第2のコイル5に電流を流すことにより、磁極部4aと4bに、夫々、異なる磁極が生じる。例えば、図3に示すように、磁極部4aにS極が生じれば、磁極部4bにはN極が生じる。磁極部4aと4bが可動子6に対向するように位置するので、第2の固定子4は、漏れ磁束が少なく、効率のよい磁気回路を構成する。2個の第2の固定子4は、可動子6に主に回転方向の力を与えるために用いられる。

第2のコイル5は、第2の固定子4の磁極部4aと4bの各々に樹脂製のコイルボビン（図示せず）を介して分割して巻かれる。第2のコイル5は、第2の固定子4と、第2の固定子4と可動子6の空隙と、可動子6とを通る磁路を励磁するものである。また、2個の第2の固定子4の一方に設けられている第2のコイル5の励磁と他方の第2のコイル5に設けられている第2のコイル5の励磁が逆位相となるように、第2のコイル5が接続される。例えば、図3に示すように、2個の第2の固定子4の一方の磁極部4aがS極に励磁されている時に、他方の第2の固定子4の対応する磁極部4aがN極に励磁されるように、第2のコイル5が接続される。

可動子6は、上述したように、シャフト6aと駆動力発生部6bを含む。シャフト6aは、金属製の円筒からなり、軸方向と回転方向に運動できるように2個の軸受け部1bにより支持されている。駆動力発生部6bは、着磁方向（S極からN極に向かう方向）が、図4（A）と図4（B）に示すように互いに逆方向になるように半径方向に着磁される2個の円筒管状の磁石6b1と6b2により形成される。磁石6b1と6b2は、磁石6b1と6b2の中心軸心がシャフト6aの中心軸心と一致するように、シャフト6aに固着される。このことにより、磁石6b1と6b2は、回転軸心に対して対称に、着磁方向が軸方向に対して直交するように設けられる。したがって、磁石6b1と6b2の質量は回転軸心に

対して対称に分布するので、可動子 6 の回転方向の運動による慣性力は打ち消され、ケース 1 に伝わる振動を低減することができる。

また、第 1 の固定子 2 と第 2 の固定子 4 は、夫々、可動子 6 の磁石 6 b 1 と 6 b 2 の両側に位置する磁極部 2 a ~ 2 c と磁極部 4 a 及び 4 b を用いて、可動子 6 に軸方向と回転方向の力を与えるので、可動子 6 は大きな力を受けて運動することができる。ここで、可動子 6 の駆動力発生部 6 b が円筒状磁極面を有するのに対し、第 1 の固定子 2 と第 2 の固定子 4 の磁極部は、可動子 6 に面する平面の磁極面を有する。そして、磁石 6 b 1 と 6 b 2 の各々は、図 2 に示すように、E 字形の磁極部 2 a ~ 2 c を有する第 1 の固定子 2 の各凹部の幅と同じ厚さを有している。図 2 に示すように、磁石 6 b 1 と 6 b 2 の各々の側面が第 1 の固定子 2 の各凹部に対向するように、磁石 6 b 1 と 6 b 2 が軸方向に間隔をあけてシャフト 6 a に設けられている。このとき、図 3 に示すように、磁石 6 b 1 と 6 b 2 は、夫々、第 2 の固定子 4 の磁極部 4 a と 4 b に対向している。図 4 (A) と図 4 (B) に示すように、可動子 6 の駆動力発生部 6 b の円形磁極面と第 1 の固定子 2 と第 2 の固定子 4 の磁極部の平らな磁極面との間に空隙が形成されるように、磁石 6 b 1 と 6 b 2 の直径が設定される。

上記のような構成にして、第 1 のコイル 3 に電流を流すことにより、第 1 の固定子 2 の磁極部 2 a ~ 2 c には、夫々、例えば図 2 に示す磁極が生じる。そうすると、磁石 6 b 1 が第 1 の固定子 2 の上端の磁極部 2 a からは吸引力が与えられ、中央の磁極部 2 c からは反発力が与えられる。一方、磁石 6 b 2 は、第 1 の固定子 2 の中央の磁極部 2 c から吸引力が与えられ、下端の磁極部 2 b からは反発力が与えられる。したがって、可動子 6 は、第 1 の固定子 2 から軸方向の力（図 2 の場合は矢印 A の上方の力）を受ける。また、第 1 のコイル 3 にこれとは逆方向の電流を流すと、磁極部 2 a ~ 2 c に生じる磁極の極性が逆になるので、軸方向の力も逆方向に受けることになる。

また、第 2 のコイル 5 に電流を流すことにより、第 2 の固定子 4 の磁極部 4 a と 4 b には、夫々、例えば図 4 (A) と図 4 (B) に示す磁極が生じる。この時、図 4 (A) において、磁石 6 b 1 は、主に第 2 の固定子 4 から力を受けるので、矢印 B で示す右回りの回転方向の力を受ける。また、図 4 (B) において、磁石

6 b 2 も、主に第 2 の固定子 4 から力を受けるので、矢印 B で示す右回りの回転方向の力を受ける。したがって、図 4 (A) と図 4 (B) において、可動子 6 は、第 2 の固定子 4 により右回りの回転方向の力を受ける。また、第 2 のコイル 5 にこれとは逆方向の電流を流すと、第 2 の固定子 4 の磁極部 4 a と 4 b に生じる磁極の極性が逆になるので、左回りの回転方向の力が可動子 6 に印加される。

したがって、このアクチュエータは、可動子 6 の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御することができ、軸方向の変位に対する推力特性 (図 5) と回転方向の回転角度に対するトルク特性 (図 6) を有している。すなわち、図 5 において、曲線 F Z 1 は、第 1 のコイル 3 に電流が流れていないときの推力特性を示し、曲線 F P 1 は、第 1 のコイル 3 にプラス方向の電流が流れたときの推力特性を示し、また、曲線 F M 1 は、第 1 のコイル 3 にマイナス方向の電流が流れたときの推力特性を示す。一方、図 6 において、曲線 T Z 1 は、第 2 のコイル 5 に電流が流れていないときのトルク特性を示し、曲線 T P 1 は、第 2 のコイル 5 にプラス方向の電流が流れたときのトルク特性を示し、また、曲線 T M 1 は、第 2 のコイル 5 にマイナス方向の電流が流れたときのトルク特性を示す。

ここで、推力特性は、第 1 の固定子 2 と可動子 6 が図 2 に示すように配置されているときを軸方向の基準位置としている一方、トルク特性は、第 1 の固定子 2 と第 2 の固定子 4 と可動子 6 が図 4 (A) と図 4 (B) に示すように配置されているときを回転方向の基準位置としている。したがって、第 1 のコイル 3 と第 2 のコイル 5 に交流電圧を印加することにより、第 1 のコイル 3 と第 2 のコイル 5 の各々にプラス方向とマイナス方向の電流が流れるので、可動子 6 は、軸方向と回転方向の 2 方向に往復運動を行う。

ところで、図 1 のアクチュエータの変形例にかかるアクチュエータを示す図 7 では、第 2 の固定子 4 を、第 1 の固定子 2 と同様にして、3 個の磁極部、即ち、両端の磁極部 4 a 及び 4 b と中央の磁極部 4 c を有する E 字形に形成している。この時、図 8 (A) において、磁石 6 b 1 と第 2 の固定子 4 の上端の磁極部 4 a との位置関係は、磁石 6 b 1 が矢印 B で示す右回りの回転運動を行う力が発生するようになる。また、図 8 (B) において、磁石 6 b 2 と第 2 の固定子 4 の下端の磁極部 4 b との位置関係は、磁石 6 b 2 が矢印 C で示す左回りの回転運動を行

う力が発生するようになる。よって、磁石 6 b 1 の回転方向と磁石 6 b 2 の回転方向は互いに逆になるので、磁石 6 b 1 の回転運動と磁石 6 b 2 の回転運動は互いに打ち消し合う。また、図 7 に示すように、磁石 6 b 1 と 6 b 2 の磁極面と第 2 の固定子 4 の磁極部 4 a ~ 4 c の磁極面は対向しないので、可動子 6 が第 2 の固定子 4 から受ける力も小さくなる。したがって、図 7 の E 字形の第 2 の固定子 4 の代りに図 1 の C 字形の第 2 の固定子 4 を用いることにより、可動子 6 が第 2 の固定子 4 から回転方向に受ける力を大きくすることができる。

次に、本発明の第 1 の実施形態にかかるアクチュエータの動作について説明する。可動子 6 は、前述した軸方向の基準位置（図 2）と回転方向の基準位置（図 4 (A) 及び図 4 (B)）にあり、第 1 のコイル 3 と第 2 のコイル 5 には電流が流れていないものとする。このとき、可動子 6 は、図 5 の曲線 F Z 1 と図 6 の曲線 T Z 1 に示すようにつりあった状態にあり、軸方向にも回転方向にも力を受けないので静止している。

ここで、図 9 に示すように、第 1 のコイル 3 と第 2 のコイル 5 に夫々波形 V S と波形 V R 1 で表される矩形波の交流電圧を印加すると、第 1 のコイル 3 と第 2 のコイル 5 に交流が流れ、第 1 のコイル 3 は、第 1 の固定子 2 を通る磁路を励磁し、第 2 のコイル 5 は、第 2 の固定子 4 を通る磁路を励磁する。すると、可動子 6 は、図 5 に示す軸方向の力と図 6 に示す回転方向の力を受ける。第 1 のコイル 3 と第 2 のコイル 5 に流れる交流の位相は、可動子 6 の運動やコイルの巻数などによって変化するが、第 1 のコイル 3 に流れる交流により、可動子 6 は、軸方向に例えば図 9 の曲線 D S のように運動する。一方、可動子 6 は、第 2 のコイル 5 により、例えば図 9 に示した位相で、区間 R L では左回りの回転運動を行い、区間 R R では右回りの回転運動を行う。したがって、可動子 6 は、軸方向に往復運動をしながら軸方向と同じ周期で回転方向の往復運動を行う。

また、上述したように、このアクチュエータでは、可動子 6 の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御できるので、例えば図 10 に示すように、波形 V R 2 で表される第 2 のコイル 5 に印加する交流電圧の周波数を波形 V S で表される第 1 のコイル 3 に印加する交流電圧の周波数の 2 倍にすると、可動子 6 は、軸方向に 1 往復の運動をする間に回転方向に 2 往復の運動を行うようにすることが

できる。

このように、本発明の第1の実施形態にかかるアクチュエータにおいては、第1のコイル3で第1の固定子2を通る磁路を励磁することにより可動子6に軸方向の力を与え、第2のコイル5で第2の固定子4を通る磁路を励磁することにより可動子6に回転方向の力を与えるので、可動子6の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御することができる。このことにより、運動方向変換機構を用いずに、可動子6が軸方向と回転方向の2方向に運動することが可能なアクチュエータの動作制御の自由度を向上することができる。

そして、可動子6の磁石6b1と6b2の質量は回転軸心に対して対称に分布するので、可動子6の回転方向の運動による慣性力は打ち消され、ケース1に伝わる振動を低減することができる。また、第1の固定子2と第2の固定子4は、夫々、可動子6の磁石6b1と6b2の両側に位置する磁極部2a～2cと磁極部4a及び4bを用いて、可動子6に軸方向と回転方向の力を与えるので、可動子6は大きな力を受けて運動することができる。

更に、第1の固定子2を磁極部2a～2cを有するE字形で形成する一方、第2の固定子4を磁極部4aと4bを有するC字形で形成すると共に、第1の固定子2と第4の固定子4を直交するように配置することにより、第1の固定子2と第2の固定子4の間隔が大きくなるので、第1のコイル3を第1の固定子2に設ける空間と第2のコイル5を第2の固定子4に設ける空間を大きくすることができる。また、第1の固定子2が可動子6の2個の磁石6b1と6b2に対向して位置するときに、第1の固定子2の磁極部2a～2cが軸方向の力を生じるのに適した配置となるので、第1の固定子2は漏れ磁束を少なくすると共に、可動子6は軸方向に大きな力を受けて効率よく運動することができる。また、第2の固定子4が可動子6の2個の磁石6b1と6b2に対向して位置するときに、第2の固定子4の磁極部4aと4bが回転方向の力を生じるのに適した配置となるので、第2の固定子4は漏れ磁束を少なくすると共に、可動子6は回転方向に大きな力を受けて効率よく運動することができる。

(第2の実施形態)

次に、図11と図12は、本発明の第2の実施形態にかかるアクチュエータを

示す。このアクチュエータは、第1の実施形態のアクチュエータと、第1の固定子2と第2の固定子4の形状と相対位置が異なっており、その他は第1の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。

このアクチュエータでは、第1の固定子2と第2の固定子4の磁極部の磁極面が、可動子6の駆動力発生部6bの円筒状磁極面と一定の空隙を介して対向するように、円形曲面に形成されている。そして、第2の固定子4の磁極部が、第1の固定子2のE字形の磁極部の間の凹部に設けられている。よって、図12に示すように、軸方向に見る時、第1の固定子2と第2の固定子4の磁極部の両端部が、立体的に重なり合う重なり部CPを形成している。したがって、図11に示すように、空隙Gが、第1の固定子2の磁極部と第2の固定子4の磁極部の間に形成される。

このような構成にすることにより、第1の固定子2と第2の固定子4は、その夫々が可動子6と対向する面積を大きくするための空間を確保するので、可動子6との対向面積を大きく取ることができ、可動子6に大きな力を与えることができる。また、空隙Gを設けたことにより、図12中の矢印で示された可動子6に力を与えるために寄与しない磁路WC（例えば、軸方向について考えたときには、第1の固定子2のN極→空隙G→第2の固定子4→空隙G→第1の固定子2のS極）の磁気抵抗を大きくして、磁路WCに流れる磁束を減少させ、可動子6に大きな力を与えることができる。ここで、空隙Gの幅は、可動子6の駆動力発生部6bと第1の固定子2及び第2の固定子4との間の上記の一定の空隙の幅などを考慮して設計する。

このように、第2の実施形態においては、第1の固定子2と第2の固定子4の磁極部が可動子6との対向面積を取るための空間を確保するので、可動子6との対向面積を大きく取ることができる。よって、第1の固定子2と第2の固定子4の間の磁路の磁気抵抗が大きくなるので、可動子6に力を与えるために寄与しない磁束を低減することができる。したがって、可動子6に軸方向と回転方向に大きな力を与えることができる。

(第3の実施形態)

次に、図13は、本発明の第3の実施形態にかかるアクチュエータを示す。こ

のアクチュエータは、第1の実施形態のアクチュエータと、可動子6の形状と可動子6及び第1の固定子2の相対位置が異なっており、その他は第1の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。

可動子6の駆動力発生部6bを形成する磁石6b1と6b2の各々は、第1の固定子2のE字形の磁極部2a～2cの間の凹部の軸方向の幅よりも小さい厚さを有する円筒状の磁石であり、その直径は対になった第1の固定子2の対応する磁極部間の距離よりも大きく形成され、第1の固定子2の磁極部2a～2cの間の凹部に突入するように設けられている。そのため、可動子6の軸方向の運動は、第1の固定子2の前記の凹部内に制限される。また、可動子6の磁石6b1と6b2の半径方向の端部が第1の固定子2の両凹部を横切って回転する。このため、可動子6の磁石6b1と6b2の磁極部と第1の固定子2の磁極部2a～2cの軸方向の対向面積を大きく取ることができるので、可動子6は軸方向に大きな力を受けて運動することができる。

(第4の実施形態)

次に、図14と図15は、本発明の第4の実施形態にかかるアクチュエータを示す。このアクチュエータは、第1の実施形態のアクチュエータと、可動子6の磁石6b1及び6b2の形状が異なっており、その他は第1の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。

図14に示すように、可動子6の磁石6b1と6b2は、同じ大きさの円筒状に形成されており、対向する両端面が軸方向に当接する一方、当接する両端面と反対側の両端面は第1の固定子2の軸方向の両端面と一致するように設けられている。磁石6b1と6b2の当接する両端面は、第1の固定子2の中央の磁極部2cの軸方向の中央に配置されている。

このような構成にすることにより、磁石6b1と6b2の当接する両端面と反対側の両端面が第1の固定子2の軸方向の両端面と一致する位置が安定点となる。図15において、このアクチュエータは、第1のコイル3に電流が流れていないときには曲線FZ2、第1のコイル3にプラス方向の電流が流れたときには曲線FP2、また、第1のコイル3にマイナス方向の電流が流れたときには曲線FM2で示される推力特性を有する。つまり、可動子6に軸方向の変位が生じると、

可動子 6 を逆方向へ引き戻す力が生じる特性となる。したがって、可動子 6 は、戻しばねに連結されたように動作するので、安定した往復動作を行うことができる。

このように第 4 の実施形態においては、可動子 6 の磁石 6 b 1 と 6 b 2 の当接する両端面と反対側の両端面が第 1 の固定子 2 の軸方向の両端面と一致する位置が安定点となり、可動子 6 の軸方向の変位が大きくなるにつれ、大きな力が変位とは逆方向に生じるようになるので、戻しばねの効果を得ることができる。

なお、第 4 の実施形態では、可動子 6 の駆動力発生部 6 b は、当接する 2 個の磁石 6 b 1 と 6 b 2 を含むが、一体部品で形成してもよい。

(第 5 の実施形態)

次に、図 16 (A) と図 16 (B) は、本発明の第 5 の実施形態にかかるアクチュエータにおける第 1 の固定子 2 に対する第 1 のコイル 3 の 2 通りの巻き方を示す。このアクチュエータは、第 1 の実施形態のアクチュエータと、第 1 のコイル 3 の第 1 の固定子 2 への巻き方が異なっており、その他は第 1 の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。

第 1 の実施形態のアクチュエータでは、図 2 に示すように、第 1 のコイル 3 は、第 1 の固定子 2 の中央の磁極部 2 c に巻かれていた。しかしながら、このアクチュエータでは、図 16 (A) に示すように、第 1 のコイル 3 は、第 1 の固定子 2 の両端の磁極部 2 a と 2 b に分割して巻かれている。このとき、これらの第 1 のコイル 3 は、中央の磁極部 2 c と両端の磁極部 2 a 及び 2 b が異なった磁極に励磁されるよう接続されている。このように第 1 のコイル 3 を磁極部 2 a と 2 b に分割して巻くことにより、第 1 のコイル 3 を 1 個の磁極部 2 c に巻いた第 1 の実施形態と比較して、巻かれた第 1 のコイル 3 による厚みの影響が少なくなるので、第 1 のコイル 3 を巻く空間を低減することができる。また、図 16 (B) に示すように、第 1 のコイル 3 を、第 1 の固定子 2 の磁極部 2 a ~ 2 c の夫々に分割して巻くこともできる。

このように、第 5 の実施形態においては、第 1 のコイル 3 を第 1 の固定子 2 の両端の磁極部 2 a と 2 b または磁極部 2 a ~ 2 c に分割して巻くことにより、第 1 のコイル 3 を 1 個の磁極部 2 c に巻いた第 1 の実施形態と比較して、巻かれた

第1のコイル3による厚みの影響が少なくなるので、第1の固定子2に第1のコイル3を巻く空間を更に低減することができる。

(第6の実施形態)

次に、図17は、本発明の第6の実施形態にかかるアクチュエータを示す。このアクチュエータは、第4の実施形態のアクチュエータと、1対の共振ばね8を設けた点で異なっており、その他は第4の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。

共振ばね8の各々は、コイルばねで形成され、撓んだ状態でケース1と可動子6の間に設けられている。即ち、一方の共振ばね8は、磁石6b1と対応する軸受け部1bの間に設けられ、その両端が、夫々、磁石6b1と対応する軸受け部1bに固定されている。他方の共振ばね8は、磁石6b2と対応する軸受け部1bの間に設けられ、その両端が、夫々、磁石6b2と対応する軸受け部1bに固定されている。このようにすることにより、共振ばね8は、可動子6の軸方向の運動に対しても、可動子6の回転方向の運動に対しても、ばねとして働くことができる。よって、共振ばね8は、軸方向の共振に用いる軸方向共振ばねの機能だけでなく、回転方向の共振に用いる回転共振ばねの機能も有する。

したがって、可動子6は、共振ばね8の軸方向のばね定数（軸方向共振ばねとしてのばね定数）と可動子6の質量によって定まる共振周波数の近傍の周波数で第1のコイル3に交流電圧を与えて励磁することにより、共振現象により効率よく軸方向の往復運動を行う。また、可動子6は、共振ばね8の回転方向のばね定数（回転共振ばねとしてのばね定数）と可動子6の慣性モーメントによって定まる共振周波数の近傍の周波数で第2のコイル5に交流電圧を与えて励磁することにより、共振現象により効率よく回転方向の往復運動を行う。ここで、第1のコイル3と第2のコイル5に印加する交流電圧の周波数を共振周波数の近傍としたのは、第1のコイル3と第2のコイル5に交流電圧を印加する電気回路の影響により、実際の共振周波数が、運動系のみで決まる共振周波数から多少ずれるからである。

このように、第6の実施形態においては、共振ばね8の各々が、軸方向共振ばねと回転共振ばねの両方の機能を有するので、可動子6の質量と軸方向共振ばね

のばね定数により定まる共振周波数の近傍の周波数で第1のコイル3に交流電圧を印加することにより、可動子6は共振現象を用いて効率よく大きい振幅で軸方向の往復運動をすることができる。また、可動子6の慣性モーメントと回転共振ばねのばね定数により定まる共振周波数の近傍の周波数で第2のコイル5に交流電圧を印加することにより、可動子6は共振現象を用いて効率よく大きい振幅で回転方向の往復運動をすることができる。また、共振ばね8の各々が軸方向共振ばねとしてだけでなく回転共振ばねとしても働くので、共振ばね8を設ける空間を減少させることができる。

なお、ここでは、共振ばね8の各々が、軸方向共振ばねと回転共振ばねの両方の機能を有する場合を説明したが、第6の実施形態はこの場合に限るものではなく、軸方向共振ばねと回転共振ばねを別々に設けてもよい。この目的のために、例えば、板ばねと渦巻きばねを、夫々、軸方向共振ばねと回転共振ばねとして用いてもよい。また、軸方向共振ばねとしてのコイルばねと回転共振ばねとしてのコイルばねの一方を他方の空間に入れて組み合わせることにより、共振ばね8を設けるのに必要な空間を低減することができる。

(第7の実施形態)

次に、図18乃至図20は、本発明の第7の実施形態にかかるアクチュエータを示す。このアクチュエータは、第1の実施形態のアクチュエータと、別の可動子17とばね部材18を設けて、ケース1に収納した点で異なっており、その他は第1の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。したがって、このアクチュエータは、第1の実施形態のアクチュエータと大略同様に動作する。また、図18のアクチュエータの変形例にかかるアクチュエータを示す図21では、第2の固定子4を、第1の実施形態の変形例(図7)と同様に、3個の磁極部、即ち、両端の磁極部4a及び4bと中央の磁極部4cを有するE字形に形成している。

別の可動子17は、銅、タングステン、黄銅等で筐体部1aの内径より小さい外径の円筒管で形成され、シャフト6aの直径より大きい直径の円形貫通孔が、別の可動子17の中心軸心に設けられている。別の可動子17は、貫通孔にシャフト6aを挿通した状態で可動子6の磁石6b2と対応する軸受け部1bの間で磁石6b2と軸方向に並ぶように筐体部1a内に収納されている。別の可動子1

7は、可動子6とは別に軸方向に運動を行えるように、後述のばね部材18を用いて磁石6b2と軸受け部1bの間に支持されている。別の可動子17の質量は、可動子6の質量と同程度に設定されている。

ばね部材18は、軸方向に撓む3個のコイルばね、即ち、第1のばね18a、
5 第2のばね18bと第3のばね18cにより構成されている。第1のばね18aは、磁石6b1と対応する軸受け部1bの間に設けられ、その両端が、夫々、磁石6b1と対応する軸受け部1bに固定されている。また、第2のばね18bは、磁石6b2と別の可動子17の間に設けられ、その両端が、夫々、磁石6b2と別の可動子17に固定されている。更に、第3のばね18cは、別の可動子17
10 と対応する軸受け部1bの間に設けられ、その両端が、夫々、別の可動子17と対応する軸受け部1bに固定されている。その結果、ばね18は、回転方向にもばねとして働く。

また、ケース1と、可動子6と、別の可動子17と、ばね部材18とは、夫々の質量とばね部材18の第1のばね18a、第2のばね18bと第3のばね18cの夫々のばね定数により決まる共振周波数で軸方向の共振運動を行うばね共振系を構成する。このばね共振系は、ケース1を固定した状態に近似できる時には2個の共振周波数を持つ。一方の共振周波数（以下、「1次モード共振周波数」と呼ぶ）では、可動子6と別の可動子17とが軸方向に同位相で運動し、また、
15 他方の共振周波数（以下、「2次モード共振周波数」と呼ぶ）では、可動子6と別の可動子17とが軸方向に逆位相で運動する。よって、第1のコイル3に2次モード共振周波数の近傍の周波数の交流電圧を印加すると、可動子6と別の可動子17は軸方向に逆位相で動作する共振運動を行う。したがって、可動子6は、
20 軸方向の共振運動により、大きな軸方向の振幅を効率よく得ることができる。また、可動子6の質量と別の可動子17の質量を同程度としているので、可動子6と別の可動子17の夫々の慣性力が打ち消し合うから、ケース1に伝わる軸方向の慣性力による振動を低減することができる。
25

一方、ばね部材18は、コイルばねであるので両端を固定することにより、回転方向のばねの機能を有するから、ケース1と、可動子6と、別の可動子17と、ばね部材18とは、夫々の慣性モーメントとばね部材18の第1のばね18a、

第2のばね18bと第3のばね18cの夫々の回転方向のばね定数により決まる共振周波数で回転方向の共振運動を行うばね共振系を構成することができる。したがって、この共振周波数の近傍の周波数で交流電圧を第2のコイル5に印加することにより、可動子6は、回転方向の共振運動により大きな回転方向の振幅を効率よく得ることができる。

第7の実施形態において、可動子6の軸方向と回転方向の共振運動を行うために、第1のコイル3と第2のコイル5に印加する交流電圧の周波数を共振周波数の近傍としたのは、第1のコイル3と第2のコイル5に交流電圧を印加する電気回路の影響により、実際の共振周波数が、運動系のみで決まる共振周波数から多少ずれるからである。

このように、本発明の第7の実施形態にかかるアクチュエータにおいては、可動子6と、別の可動子17と、ケース1と、これらの部材の間で軸方向に撓むばね部材18とによりばね共振系を構成し、第1のコイル3で第1の固定子2を通る磁路を励磁することにより、可動子6に軸方向の力を与えて軸方向の共振運動を行う一方、第2のコイル5で第2の固定子4を通る磁路を励磁することにより、可動子6に回転方向の力を与えて回転方向の共振運動を行うので、可動子6の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御することができる。また、軸方向の共振運動において、可動子6と別の可動子17が、夫々、軸方向で逆に運動することができるので、ケース1に伝わる軸方向の慣性力による振動を低減することができる。このことにより、運動方向変換機構を用いずに、可動子6が軸方向と回転方向の2方向に運動することが可能なアクチュエータの動作制御の自由度を向上することができる。

また、第1の固定子2と第2の固定子4は、夫々、軸方向の力と回転方向の力を可動子6に与えるが、別の可動子17は、第1の固定子2と第2の固定子4から力を直接に受けないので、ばね共振系の設計が容易となる。

更に、第7の実施形態においては、可動子6が、第1の固定子2と第2の固定子4から軸方向の力と回転方向の力を受ける場合を説明したが、この場合に限るものではない。軸方向の力と回転方向の力が可動子6からばね部材18を介して別の可動子17に伝わるので、可動子6と別の可動子17の磁気構造を入れ替え

て、別の可動子 17 が、第 1 の固定子 2 と第 2 の固定子 4 から軸方向の力と回転方向の力を受けるように構成してもよい。

(第 8 の実施形態)

次に、図 22 は、本発明の第 8 の実施形態にかかるアクチュエータを示す。この
5 アクチュエータは、第 7 の実施形態のアクチュエータと、可動子 6 の形状と可動子 6 及び第 1 の固定子 2 の相対位置が異なっており、その他は第 7 の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。より詳しくは、このアクチュエータは、図 13 に示す第 3 の実施形態のアクチュエータの可動子 6 の形状と可動子 6 及び第 1 の固定子 2 の相対位置を第 7 の実施形態のアクチュエータに適用することにより
10 得られる。

したがって、第 3 の実施形態と同様に、可動子 6 の駆動力発生部 6b を形成する磁石 6b1 と 6b2 の各々は、第 1 の固定子 2 の E 字形の磁極部 2a ~ 2c の間の凹部の軸方向の幅よりも小さい厚さを有する円筒状の磁石であり、その直径は対になった第 1 の固定子 2 の対応する磁極部間の距離よりも大きく形成され、
15 第 1 の固定子 2 の磁極部 2a ~ 2c の間の凹部に突入するように設けられているので、可動子 6 の磁石 6b1 と 6b2 の半径方向の端部が第 1 の固定子 2 の両凹部を横切って回転する。このため、可動子 6 の磁石 6b1 と 6b2 の磁極部と第 1 の固定子 2 の磁極部 2a ~ 2c の軸方向の対向面積を大きく取ることができるので、可動子 6 は軸方向に大きな力を受けて運動することができる。

(第 9 の実施形態)

次に、図 23 は、本発明の第 9 の実施形態にかかるアクチュエータを示す。この
20 アクチュエータは、第 7 の実施形態のアクチュエータと、可動子 6 の磁石 6b1 及び 6b2 の形状が異なっており、その他は第 7 の実施形態のアクチュエータと同じ構成である。より詳しくは、このアクチュエータは、図 14 に示す第 4 の実施形態の可動子 6 の磁石 6b1 及び 6b2 の形状を第 7 の実施形態のアクチュ
25 エータに適用することにより得られる。

したがって、第 4 の実施形態と同様に、可動子 6 の磁石 6b1 と 6b2 は、同じ大きさの円筒状に形成されており、対向する両端面が軸方向に当接する一方、当接する両端面と反対側の両端面は第 1 の固定子 2 の軸方向の両端面と一致する

ように設けられている。磁石 6 b 1 と 6 b 2 の当接する両端面は、第 1 の固定子 2 の中央の磁極部 2 c の軸方向の中央に配置されている。

このような構成にすることにより、磁石 6 b 1 と 6 b 2 の当接する両端面と反対側の両端面が第 1 の固定子 2 の軸方向の両端面と一致する位置が安定点となり、可動子 6 は、第 4 の実施形態と同様に戻しばねに連結されたように動作するので、ばね部材 1 8 としてばね定数の低いばねを使用することができる。

このように第 9 の実施形態においては、可動子 6 の磁石 6 b 1 と 6 b 2 の当接する両端面と反対側の両端面が第 1 の固定子 2 の軸方向の両端面と一致する位置が安定点となり、可動子 6 の軸方向の変位が大きくなるにつれ、大きな力が変位とは逆方向に生じるようになるので、戻しばねの効果を得ることができる。

なお、第 9 の実施形態では、可動子 6 の駆動力発生部 6 b は、当接する 2 個の磁石 6 b 1 と 6 b 2 を含むが、着磁方向が 2 個所で異なる 1 個の磁石で形成してもよい。

(第 10 の実施形態)

図 2 4 は、本発明の第 10 の実施形態にかかるアクチュエータを示す。このアクチュエータは、第 9 の実施形態のアクチュエータと、可動子 6 が第 2 の固定子 4 から力を受けず、別の可動子 1 7 が第 2 の固定子 4 から力を受ける点で異なっており、その他は第 9 の実施形態と同じ構成である。

別の可動子 1 7 は、可動子 6 と同様に、互いに当接する 2 個の磁石 1 7 a と 1 7 b を含み、シャフト 6 a の直径より大きい直径の円形貫通孔が、磁石 1 7 a と 1 7 b の各々の中心軸心に設けられている。磁石 1 7 a と 1 7 b は、貫通孔にベアリングを介してシャフト 6 a を挿通した状態で可動子 6 の磁石 6 b 2 と対応する軸受け部 1 b の間で軸方向に並ぶように筐体部 1 a 内に収納されて、磁石 6 b 2 と対応する軸受け部 1 b の間にばね部材 1 8 の第 2 のばね 1 8 b と第 3 のばね 1 8 c を用いて支持されている。別の可動子 1 7 の磁石 1 7 a と 1 7 b の合計質量は、可動子 6 の質量と同程度に設定されている。また、第 2 の固定子 4 は、第 7 の実施形態のアクチュエータの第 2 の固定子 4 (図 2 0) と同じ形状を有すると共に、別の可動子 1 7 に対向している。

このように構成することにより、第 10 の実施形態では、第 1 の固定子 2 から

の軸方向の力に寄与する磁束と、第2の固定子4からの回転方向の力に寄与する磁束とを別々に取扱うことができるので、ばね共振系の設計が容易になる。

また、第10の実施形態において、第1の固定子2から可動子6に軸方向の力を与え、第2の固定子4から別の可動子17に回転方向の力を与えることにより、
5 軸方向の力を発生するための磁路と回転方向の力を発生する磁路が互いに分離されるので、磁気回路を容易に設計することができる。

更に、第10の実施形態において、可動子6に軸方向の力を与え、別の可動子17に回転方向の力を与える構成を説明したが、この構成を、可動子6に回転方向の力を与え、別の可動子17に軸方向の力を与える逆の構成と置換してもよい。

10 一方、第7の実施形態と第10の実施形態において、可動子6の質量と別の可動子17の質量を同程度に設定したが、この設定に限るものではない。例えば、可動子6の質量と別の可動子17の質量を互いに不均衡になるように調整する時、軸方向の振動を低減すると共に、往復運動の振幅を調整することができるという効果が得られる。

15 また、第1の実施形態のアクチュエータと同様に、図11と図12に示す第2の実施形態のアクチュエータの第1の固定子2と第2の固定子4の形状と相対位置や、図16(A)と図16(B)に示す第5の実施形態のアクチュエータの第1のコイル3の第1の固定子2への巻き方を第7の実施形態のアクチュエータに適用し得ることは言うまでもない。

20 更に、上記の第1の実施形態乃至第10の実施形態において、可動子6の駆動力発生部6bの磁石6b1と6b2は、回転軸心に対して対称であり、回転軸心に対して対称に配置した1対の第1の固定子2と1対の第2の固定子4を、夫々、逆位相で励磁する構成を説明したが、この構成に限るものではなく、1個の第1の固定子2と1個の第2の固定子4を設けて、磁石6b1と6b2の片側の磁極
25 のみを使用してもよい。

その上、上記の第1の実施形態乃至第10の実施形態において、可動子6の駆動力発生部6bが2個の磁石6b1と6b2を有する構成を説明したが、駆動力発生部6bを1個の磁石だけで形成してもよい。この場合、例えば、第1の固定子2が、1個の磁極部またはC字形の2個の磁極部を有し、第2の固定子4が1

個の磁極部を有する時、可動子 6 を軸方向と回転方向に運動し得る。

(第 11 の実施形態)

図 25 乃至図 31 は、本発明の第 11 の実施形態にかかるアクチュエータを示す。図 25 に示すように、このアクチュエータは、軸方向駆動用の軸方向アクチュエータ 21 と、回転方向駆動用の回転アクチュエータ 22 と、軸方向の振動を低減するための動吸振器 23 とを含む。軸方向アクチュエータ 21、回転アクチュエータ 22 と動吸振器 23 は、ケース 27 に収納されるように、シャフト 25 に装着される。シャフト 25 は、また、ケース 27 の両端部に設けられた 1 対のベアリング 26 によって支持される。3 個のばね 24 が、夫々、ベアリング 26 の一方と軸方向アクチュエータ 21 の間、回転アクチュエータ 22 と動吸振器 23 の間と動吸振器 23 とベアリング 26 の他方の間に設けられている。

図 26 は、軸方向アクチュエータ 21 の磁気構造を示す。図 26 において、ハッチング部は磁石もしくは磁性体を指し、空白断面は非磁性体を指す。シャフト 25 は、図 26 で磁性体として表されているけれども、必ずしも磁性体である必要はない。軸方向アクチュエータ 21 は、コイル 31 を巻いた固定子 29 と、1 対の磁石 30 を有すると共にシャフト 25 に固着された可動子 28 とを含む。磁石 30 の各々は、図 26 の上下方向に着磁されている。

図 27 は、軸方向アクチュエータ 21 の動作原理を示す。図 27 に示すように、コイル 31 に電流を入力することにより、固定子 29 と可動子 28 に磁極が生じて、可動子 28 が矢印で示すように上方に移動する。コイル 31 に入力する電流に基づく着磁方向を反対にすることにより、可動子 28 を逆方向、即ち、図 27 で下方に移動するように駆動することができる。コイル 31 には正弦波や矩形波の交流電圧が印加される。

図 28 は、回転アクチュエータ 22 の磁気構造を示す。回転アクチュエータ 22 は、コイル 34 を巻いた固定子 33 と、図 29 (A) に示すように 4 個の磁石 37 を外周に配設していると共にシャフト 25 に固着された可動子 32 とを含む。図 29 (A) と図 29 (B) に示すように、固定子 33 は、4 個の上部磁極 35 と 4 個の下部磁極 36 を有する。

図 29 (A) と図 29 (B) は、夫々、回転アクチュエータ 22 の固定子 33

の上部磁極 3 5 と下部磁極 3 6 の磁化状態を示す。ある方向に流れる電流をコイル 3 4 に入力することにより、N 極と S 極が、夫々、上部磁極 3 5 と下部磁極 3 6 に発生する一方、4 個の磁石 3 7 の内周側と外周側が、夫々、S 極と N 極に着磁される時、可動子 3 2 の磁石 3 7 と固定子 3 3 の上部磁極 3 5 及び下部磁極 3 6 の間に右回りのトルクが生成される結果、可動子 3 2 が矢印で示すように右回りに回転する。コイル 3 4 に入力する電流に基づく着磁方向を反対にすることにより、可動子 3 2 を逆方向、即ち、左回りに回転するように駆動することができる。軸方向アクチュエータ 2 1 のコイル 3 1 と同様に、回転アクチュエータ 2 2 のコイル 3 4 にも正弦波や矩形波の交流電圧が印加される。

このアクチュエータにおいて、回転アクチュエータ 2 2 のコイル 3 4 に印加する交流電圧の周波数を回転アクチュエータ 2 1 のコイル 3 1 に印加する交流電圧の周波数の 1.5 倍としている。

第 11 の実施形態のアクチュエータの上記構成において、シャフト 2 5 を、軸方向アクチュエータ 2 1 と回転アクチュエータ 2 2 により、図 3 1 に示すように軸方向と回転方向の 2 方向に駆動することができる。図 3 1 において、左端の列は回転アクチュエータ 2 2 のコイル 3 4 に印加される交流電圧の周波数 f_r と軸方向アクチュエータ 2 1 のコイル 3 1 に印加される交流電圧の周波数 f_a の比

(f_r / f_a) を表し、グラフ a) ~ u) の横軸と縦軸は、夫々、軸方向と回転方向におけるシャフト 2 5 の軌跡を指す。例えば、図 3 0 に示すように回転アクチュエータ 2 2 のコイル 3 4 に印加される破線の正弦波交流電圧の周波数 f_r と軸方向アクチュエータ 2 1 のコイル 3 1 に印加される実線の正弦波交流電圧の周波数 f_a の比 (f_r / f_a) を 1.5 : 1 とする時、シャフト 2 5 は、図 3 1 のグラフ d) の軌跡に沿って駆動される。両交流電圧の位相差を ($\pi / 2$) に設定しても、シャフト 2 5 は、グラフ d) と同様にグラフ f) の軌跡に沿って駆動される。

また、 n が整数を示すとして、上記比 (f_r / f_a) を、式 ($f_r / f_a = (2n + 1) / 2$) で表して、整数 n を 1、2 と 3 に設定すると共に、位相差を 0 と ($\pi / 2$) に設定することにより、図 3 1 のグラフ d)、f)、j)、l)、p) と r) に示すように、シャフト 2 5 をより広範囲の軌跡に沿って駆動するこ

とができる。

更に、 m が整数を示すとして、上記比 (f_r / f_a) を、式 $(f_r / f_a) = m$ で表して、整数 m を 1 ~ 4 に設定すると共に、位相差を 0、 $(\pi / 4)$ と $(\pi / 2)$ に設定することにより、図 31 のグラフ b)、c)、g)、h)、n)、o)、s) と t) に示すように、シャフト 25 を直線または複雑な楕円運動の軌跡に沿って駆動することができる。

このように、この実施形態においては、回転アクチュエータ 22 のコイル 34 に印加される交流電圧の周波数 f_r と軸方向アクチュエータ 21 のコイル 31 に印加される交流電圧の周波数 f_a の比 (f_r / f_a) を上記の両式で設定することにより、シャフト 25 を各種の複雑な軌跡に沿って駆動することができる。

以下に、本発明で得られる効果を列記する。

最初に、本発明の第 1 乃至第 6 の実施形態で得られる効果を記載する。

まず、第 1 のコイルで第 1 の固定子を通る磁路を励磁することにより可動子に軸方向の力を与え、第 2 のコイルで第 2 の固定子を通る磁路を励磁することにより可動子に回転方向の力を与えるので、可動子の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御することができる。このことにより、運動方向変換機構を用いずに、可動子が軸方向と回転方向の 2 方向に運動することが可能なアクチュエータの動作制御の自由度を向上することができる。

また、可動子の磁石の質量は回転軸心に対して対称に分布するので、可動子の回転方向の運動による慣性力は打ち消され、ケースに伝わる振動を低減することができる。

また、第 1 の固定子と第 2 の固定子は、可動子の磁石の両側の磁極を用いて可動子に軸方向と回転方向の力を与えるので、可動子は大きな力を受けて運動することができる。

また、1 対の第 1 の固定子を含む軸方向の平面と、1 対の第 2 の固定子を含む軸方向の平面が略直交するので、第 1 の固定子と第 2 の固定子との間隔が夫々大きくなるから、第 1 のコイルと第 2 のコイルを設ける空間を大きくすることができる。

また、可動子の 2 個の磁石が、夫々、逆の着磁方向を有すると共に、第 1 の固

定子がE字形の3個の磁極部を有するので、可動子の2個の磁石は第1の固定子に対向して位置するとき軸方向の力を生じるのに適した磁極部の配置となるから、漏れ磁束を少なくすると共に、可動子は軸方向に大きな力を受けて効率よく運動することができる。

5 また、第2の固定子がC字形の2個の磁極部を有するので、可動子の2個の磁石は第2の固定子の2個の磁極部に対向して位置するとき回転方向の力を生じるのに適した磁極部の配置になるので、漏れ磁束を少なくすると共に、可動子は回転方向に大きな力を受けて効率よく運動することができる。

10 また、軸方向に見る時に、第1の固定子の磁極部の両端部と第2の固定子の磁極部の両端部が立体的に重なり合うので、第1の固定子と第2の固定子は、その夫々が可動子との対向面積を取るための空間を確保するので、可動子との対向面積を大きく取ることができ、可動子に大きな力を与えることができる。

15 また、第1の固定子の磁極部と第2の固定子の磁極部の間に空隙を形成したので、第1の固定子と第2の固定子の間の磁路の磁気抵抗が大きくなるから、可動子に力を与えるために寄与しない磁束を低減することができる。

 また、可動子の磁石の端部が第1の固定子の磁極部の間の凹部を横切って回転するので、可動子の磁石の磁極部と第1の固定子の磁極部の軸方向の対向面積を大きく取ることができるから、可動子は軸方向に大きな力を受けて運動することができる。

20 また、可動子の2個の磁石が同じ大きさに形成され、更に、2個の磁石の一方の両端面が軸方向に当接すると共に、2個の磁石の他方の両端面が第1の固定子の軸方向の両端面と一致するので、2個の磁石の他方の両端面が第1の固定子の軸方向の端面と一致する位置が安定点となり、可動子の軸方向の変位が大きくなるにつれ、大きな力が変位とは逆方向に生じるようになるから、戻しばねの効果を得ることができる。

25 また、第1のコイルと第2のコイルが、夫々、第1の固定子の3個の磁極部と第2の固定子の2個の磁極部に分割して巻かれるので、コイルを分割することにより、1個の磁極部に巻いた場合と比較して、巻かれたコイルによる厚みの影響が少なくなるから、コイルを巻く空間を低減することができる。

また、軸方向共振ばねを可動子とケースの間に設けたので、可動子の質量と軸方向共振ばねのばね定数により定まる共振周波数の近傍の周波数で第1のコイルに交流電圧を印加することにより、可動子は共振現象を用いて効率よく大きい振幅で軸方向の往復運動をすることができる。

- 5 また、回転共振ばねを可動子とケースの間に更に設けたので、可動子の慣性モーメントと回転共振ばねのばね定数により定まる共振周波数の近傍の周波数で第2のコイルに交流電圧を印加することにより、可動子は共振現象を用いて効率よく大きい振幅で回転方向の往復運動をすることができる。

- 10 更に、1個のばね部材が軸方向共振ばねと回転共振ばねがとして働くので、ばね部材を設ける空間を減少させることができる。

次に、本発明の第7乃至第10の実施形態で得られる効果を記載する。

- 15 まず、可動子と、別の可動子と、ケースと、これらの夫々の間に設けられて、軸方向に撓む3個のばねを含むばね部材とによりばね共振系を構成するので、可動子の軸方向の運動と回転方向の運動を独立して制御することができる。よって、軸方向と回転方向の2方向に運動することが可能なアクチュエータの動作制御の自由度を向上することができる。また、軸方向の共振動作において、可動子と別の可動子が、夫々、軸方向に逆方向の運動を行うようにできるので、軸方向の慣性力による振動を低減することができる。

- 20 また、第1の固定子と第2の固定子が、可動子と別の可動子のいずれか一方に、夫々、軸方向の力と回転方向の力を与えるので、可動子と別の可動子の他方は第1の固定子と第2の固定子から力を受けないから、ばね共振系の設計が容易になる。

- 25 また、第1の固定子が可動子と別の可動子の一方に軸方向の力を与え、また、第2の固定子が可動子と別の固定子の他方に回転方向の力を与えるので、軸方向に力を発生するための磁路と回転方向に力を発生するための磁路が分離されるから、磁気回路を容易に設計することができる。

また、第1の固定子と第2の固定子から力を受ける可動子と別の可動子のいずれか一方が、着磁方向が軸方向に対して略直交すると共に回転軸心に対して対称に配置した磁石を含むと共に、第1の固定子と第2の固定子が、夫々、回転軸心

に対して対称に設けられているので、第1の固定子と第2の固定子は、可動子と別の可動子のいずれか一方に軸方向の力と回転方向の力を与えるから、ばね共振系は大きな力を受けて運動することができる。

5 また、第1の固定子から軸方向の力を受ける可動子と別の可動子のいずれか一方が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含むと共に、第1の固定子がE字形の3個の磁極部を有するので、2個の磁石は第1の固定子に対向して位置するとき軸方向の力を生じるのに適した磁極部の配置となるから、漏れ磁束を少なくすると共に、ばね共振系は軸方向に大きな力を受けて効率よく運動することができる。

10 また、第2の固定子から回転方向の力を受ける可動子と別の可動子のいずれか一方が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含むと共に、第2の固定子がC字形の2個の磁極部を有するので、2個の磁石は第2の固定子の2個の磁極部に対向して位置するとき回転方向の力を生じるのに適した磁極部の配置になるから、漏れ磁束を少なくすると共に、可動子と別の可動子のいずれか一方は回転
15 方向に大きな力を受けて効率よく運動することができる。

更に、磁石の端部が第1の固定子の磁極部の間の凹部を横切って回転するので、磁石の磁極部と第1の固定子の磁極部の軸方向の対向面積を大きく取ることができるから、ばね共振系は軸方向に大きな力を受けて運動することができる。

請 求 の 範 囲

1. ケースと、コイル部材を有すると共にケース内に固定される固定子部材と、
可動子を含むと共にケースに支持される可動子部材とを備え、また、可動子は、
5 シャフトを有すると共に、シャフトの軸方向とシャフトの軸方向を回転軸心とする
回転方向に運動し得るようにケースに支持され、更に、コイル部材に電流を流
すことにより、可動子が軸方向と回転方向に運動するアクチュエータにおいて、

固定子部材は、可動子部材に軸方向の力を与える第1の固定子部材と、可動子
部材に回転方向の力を与える第2の固定子部材とを備え、また、コイル部材は、
10 第1の固定子部材を通る第1磁路を励磁する第1のコイル部材と第2の固定子部
材を通る第2磁路を励磁する第2のコイル部材を含むアクチュエータ。

2. 第1の固定子部材と第2の固定子部材が、夫々、可動子に軸方向の力と回転
方向の力を与える一方、可動子が、着磁方向が軸方向に対して略直交するように
設けた磁石部材を含む請求項1記載のアクチュエータ。

15 3. 可動子の磁石部材を回転軸心に対して対称に配置した請求項2記載のアク
チュエータ。

4. 第1の固定子部材が、回転軸心に対して対称に設けられた1対の第1の固定
子を含む一方、第2の固定子部材が、回転軸心に対して対称に設けられた1対の
第2の固定子を含み、また、第1のコイル部材が、1対の第1の固定子に、夫々、
20 設けられた1対の第1のコイルを含む一方、第2のコイル部材が、1対の第2の
固定子に、夫々、設けられた1対の第2のコイルを含み、更に、1対の第1のコ
イルは、夫々、1対の第1の固定子を逆位相で励磁する一方、1対の第2のコ
イルは、夫々、1対の第2の固定子を逆位相で励磁する請求項2記載のアクチュ
エータ。

25 5. 1対の第1の固定子を含む軸方向の平面と、1対の第2の固定子を含む軸方
向の平面とが略直交するように、第1の固定子と第2の固定子を配置した請求項
4記載のアクチュエータ。

6. 可動子の磁石部材が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含み、また、
第1の固定子の各々を、軸方向に並ぶ3個の磁極部を有する略E字形の磁性体で

形成した請求項 4 記載のアクチュエータ。

7. 第 2 の固定子の各々を、軸方向に並ぶ 2 個の磁極部を有する略 C 字形の磁性体で形成した請求項 6 記載のアクチュエータ。

5 8. 軸方向に見る時に、第 1 の固定子の磁極部の両端部と第 2 の固定子の磁極部の両端部が立体的に重なり合う請求項 7 記載のアクチュエータ。

9. 第 1 の固定子の磁極部と第 2 の固定子の磁極部の間に空隙を形成した請求項 8 記載のアクチュエータ。

10. 可動子の各々の磁石の端部が、第 1 の固定子の磁極部の間の 2 個の凹部の各々を横切って回転する請求項 7 記載のアクチュエータ。

10 11. 可動子の 2 個の磁石が同じ大きさに形成され、また、2 個の磁石の対向する両端面が軸方向に当接すると共に、2 個の磁石の反対側の両端面が、夫々、第 1 の固定子の軸方向の両端面と一致するように、2 個の磁石を設けた請求項 7 記載のアクチュエータ。

15 12. 可動子に軸方向の共振運動をさせる軸方向共振ばねを可動子とケースの間に更に備える請求項 1 記載のアクチュエータ。

13. 可動子に回転方向の共振運動をさせる回転共振ばねを可動子とケースの間に更に備える請求項 1 記載のアクチュエータ。

20 14. 可動子と同軸に配置されていると共に軸方向に運動を行い得る別の可動子を可動子部材が、更に、含むと共に、ケースと可動子の間に設けられて、軸方向に撓む第 1 のばね、可動子と別の可動子の間に設けられて、軸方向に撓む第 2 のばね、及び別の可動子とケースの間に設けられて、軸方向に撓む第 3 のばねを含むばね部材を更に備える請求項 1 に記載のアクチュエータ。

25 15. 第 1 の固定子部材と第 2 の固定子部材が、可動子と別の可動子のいずれか一方に、夫々、軸方向の力と回転方向の力を与える請求項 14 記載のアクチュエータ。

16. 第 1 の固定子部材が可動子と別の可動子の一方に軸方向の力を与え、また、第 2 の固定子部材が可動子と別の可動子の他方に回転方向の力を与える請求項 14 記載のアクチュエータ。

17. 可動子と別の可動子の上記いずれか一方が、着磁方向が軸方向に対して略

直交すると共に回転軸心に対して対称に配置した磁石部材を含み、また、第1の固定子部材が、回転軸心に対して対称に設けられた1対の第1の固定子を含む一方、第2の固定子部材が、回転軸心に対して対称に設けられた1対の第2の固定子を含み、更に、第1のコイル部材が、1対の第1の固定子に、夫々、設けられた1対の第1のコイルを含む一方、第2のコイル部材が、1対の第2の固定子に、夫々、設けられた1対の第2のコイルを含み、且つ、1対の第1のコイルは、夫々、1対の第1の固定子を逆位相で励磁する一方、1対の第2のコイルは、夫々、1対の第2の固定子を逆位相で励磁する請求項15記載のアクチュエータ。

18. 可動子と別の可動子の各々が、着磁方向が軸方向に対して略直交すると共に回転軸心に対して対称に配置した磁石部材を含み、また、第1の固定子部材が、回転軸心に対して対称に設けられた1対の第1の固定子を含む一方、第2の固定子部材が、回転軸心に対して対称に設けられた1対の第2の固定子を含み、更に、第1のコイル部材が、1対の第1の固定子に、夫々、設けられた1対の第1のコイルを含む一方、第2のコイル部材が、1対の第2の固定子に、夫々、設けられた1対の第2のコイルを含み、且つ、1対の第1のコイルは、夫々、1対の第1の固定子を逆位相で励磁する一方、1対の第2のコイルは、夫々、1対の第2の固定子を逆位相で励磁する請求項16記載のアクチュエータ。

19. 第1の固定子部材から軸方向の力を受ける、可動子と別の可動子の上記いずれか一方の磁石部材が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含み、また、第1の固定子の各々を、軸方向に並ぶ3個の磁極部を有する略E字形の磁性体で形成した請求項17記載のアクチュエータ。

20. 第1の固定子部材から軸方向の力を受ける、可動子と別の可動子の上記一方の磁石部材が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含み、また、第1の固定子の各々を、軸方向に並ぶ3個の磁極部を有する略E字形の磁性体で形成した請求項18記載のアクチュエータ。

21. 第2の固定子部材から回転方向の力を受ける、可動子と別の可動子の上記いずれか一方の磁石部材が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含み、また、第2の固定子の各々を、軸方向に並ぶ2個の磁極部を有する略C字形の磁性体で形成した請求項19記載のアクチュエータ。

22. 第2の固定子部材から回転方向の力を受ける、可動子と別の可動子の上記他方の磁石部材が、逆の着磁方向を夫々が有する2個の磁石を含み、また、第2の固定子の各々を、軸方向に並ぶ2個の磁極部を有する略C字形の磁性体で形成した請求項20記載のアクチュエータ。

5

23. 各々の磁石の端部が、第1の固定子の磁極部の間の2個の凹部の各々を横切って回転する請求項19記載のアクチュエータ。

図 1

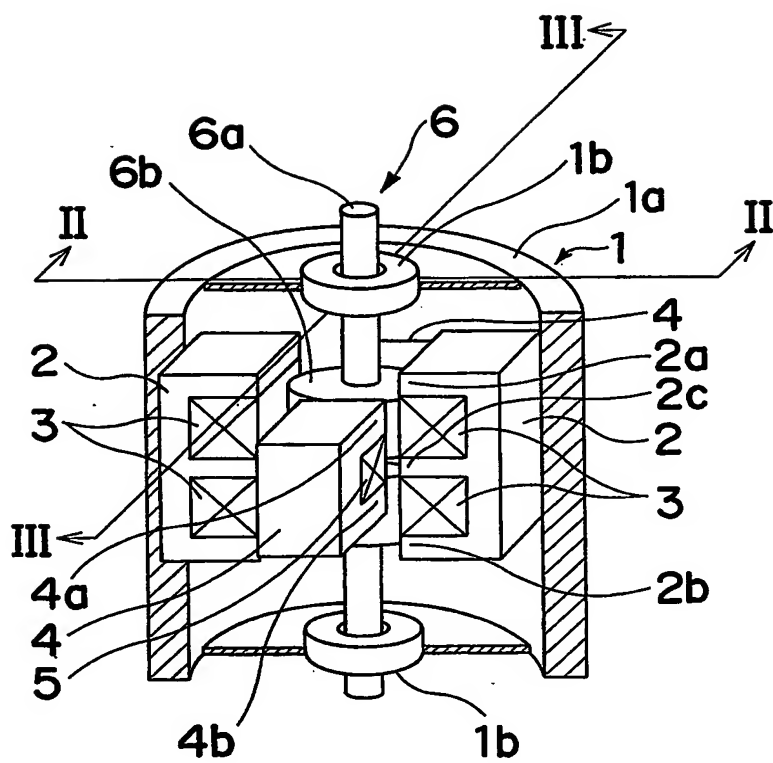


図2

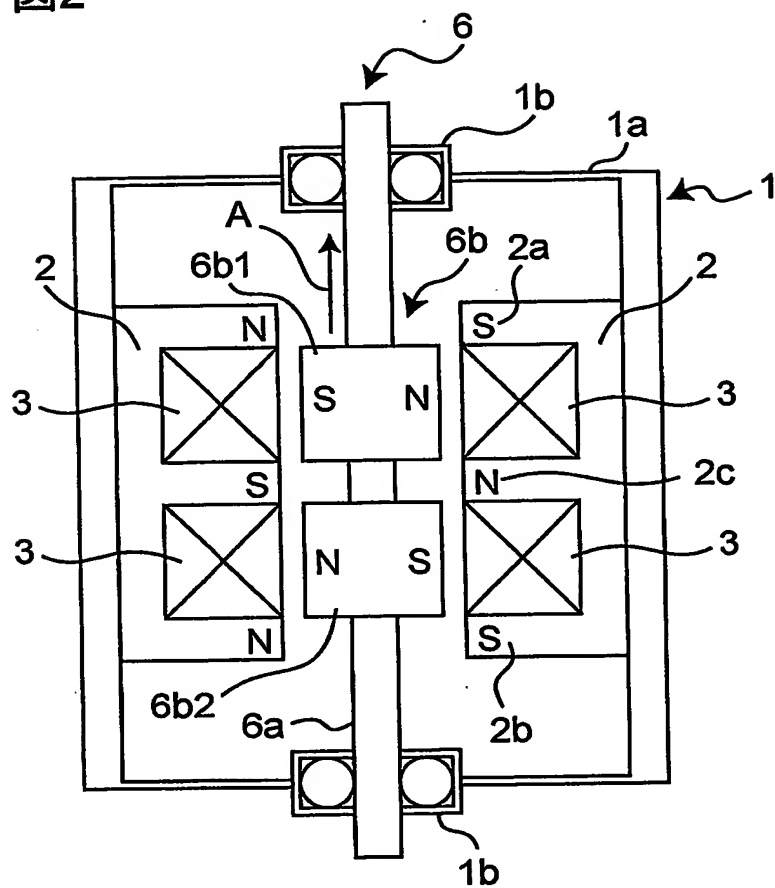
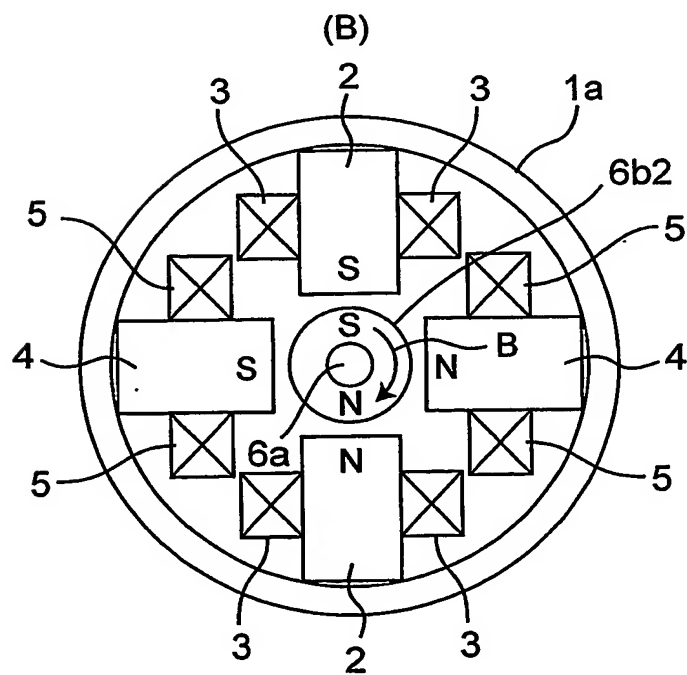
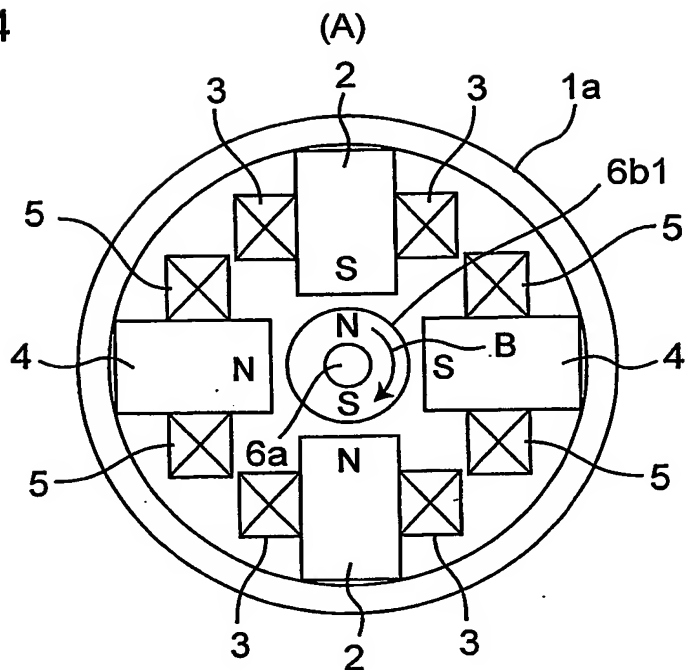


図4



5/27

図 5

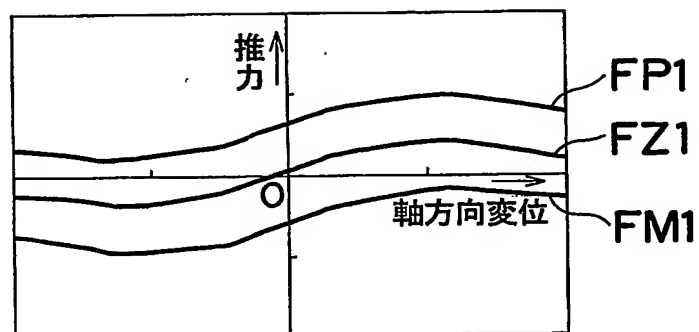


図 6

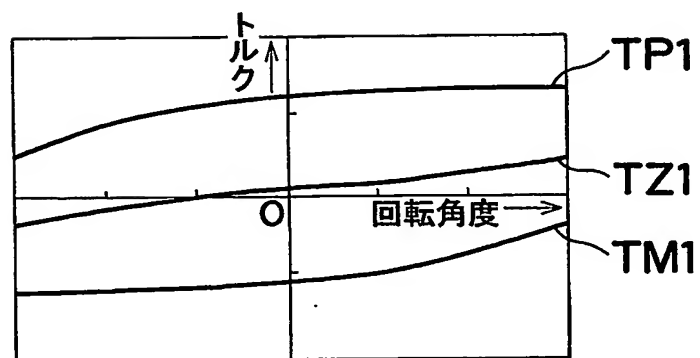
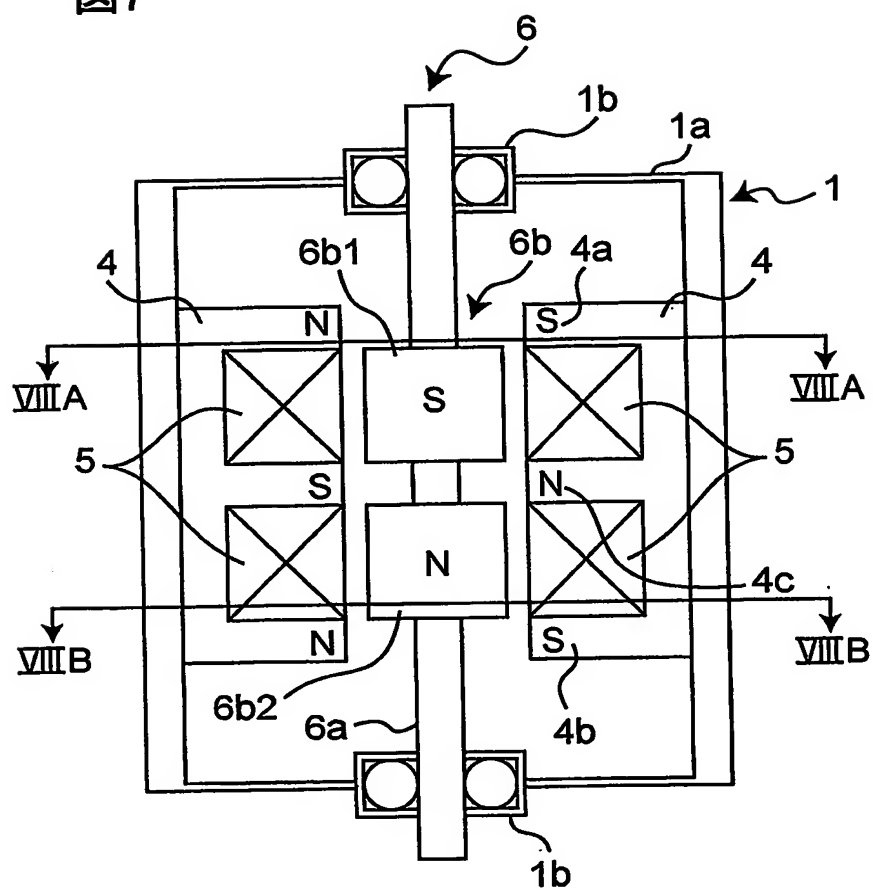
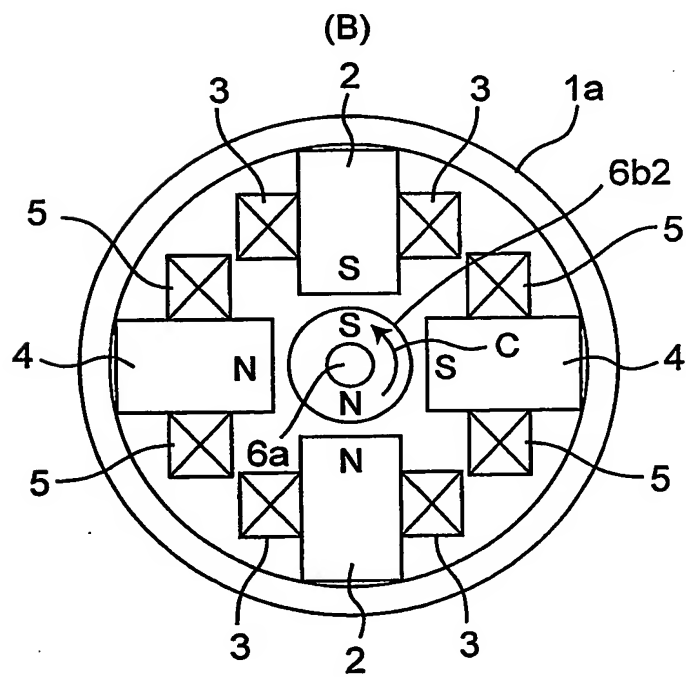
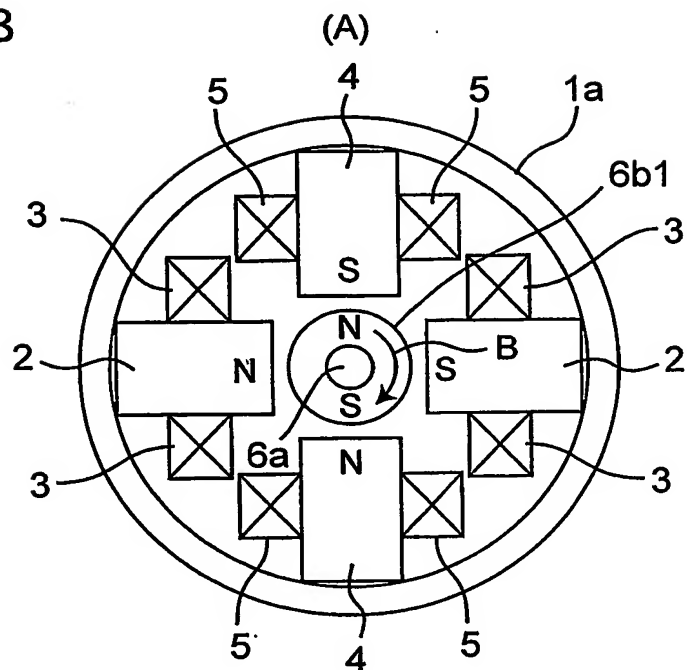


図7



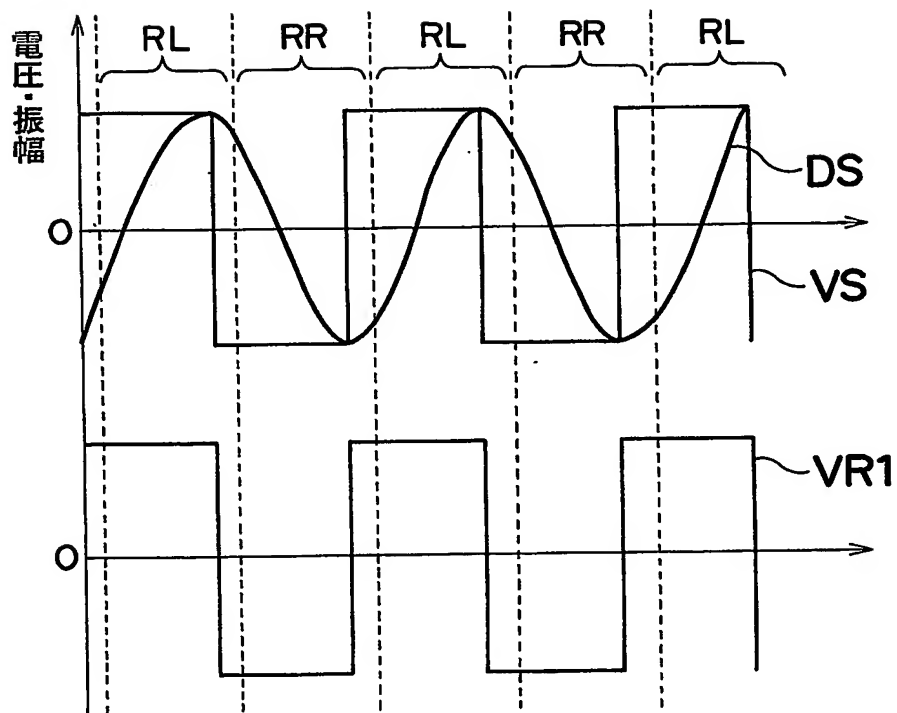
7/27

図8



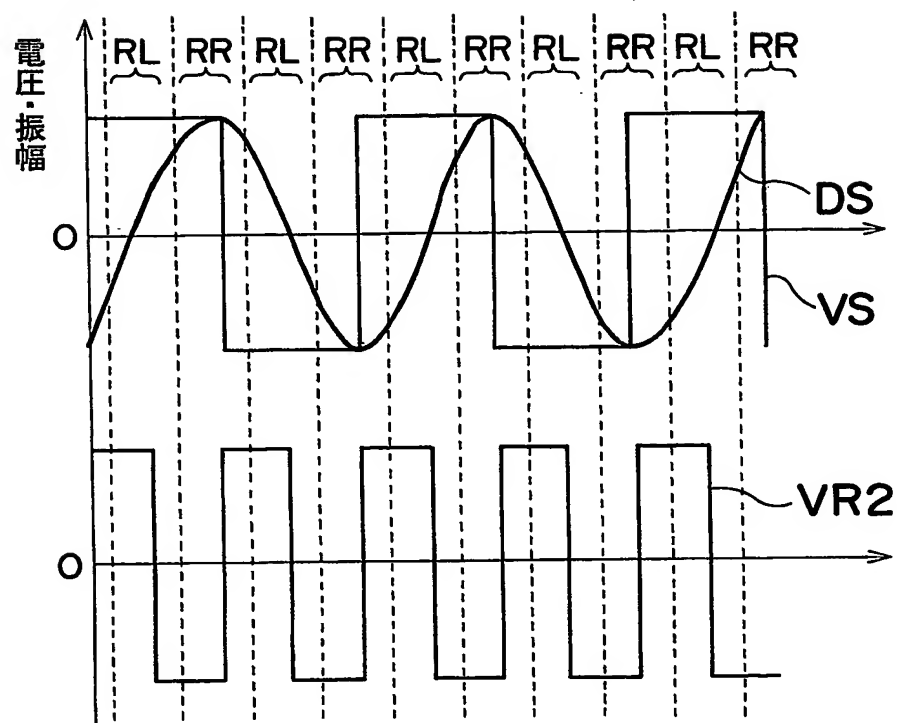
8/27

图 9



9/27

图 10



10/27

図 11

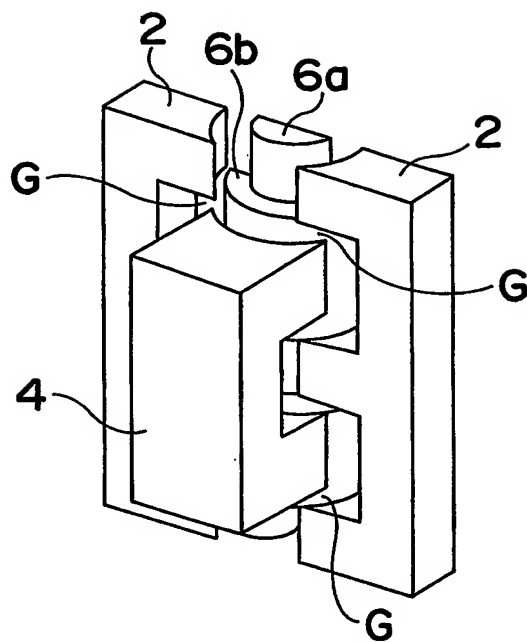


図 12

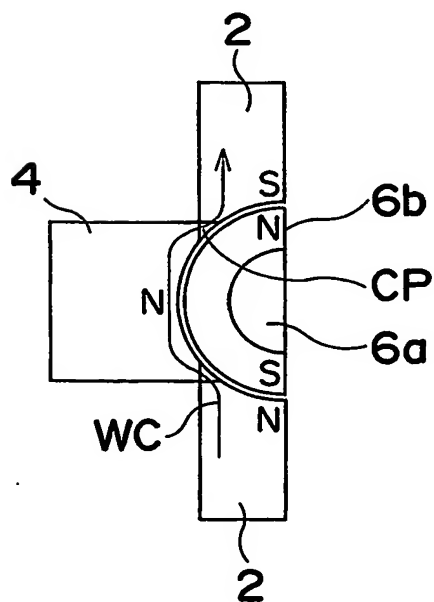
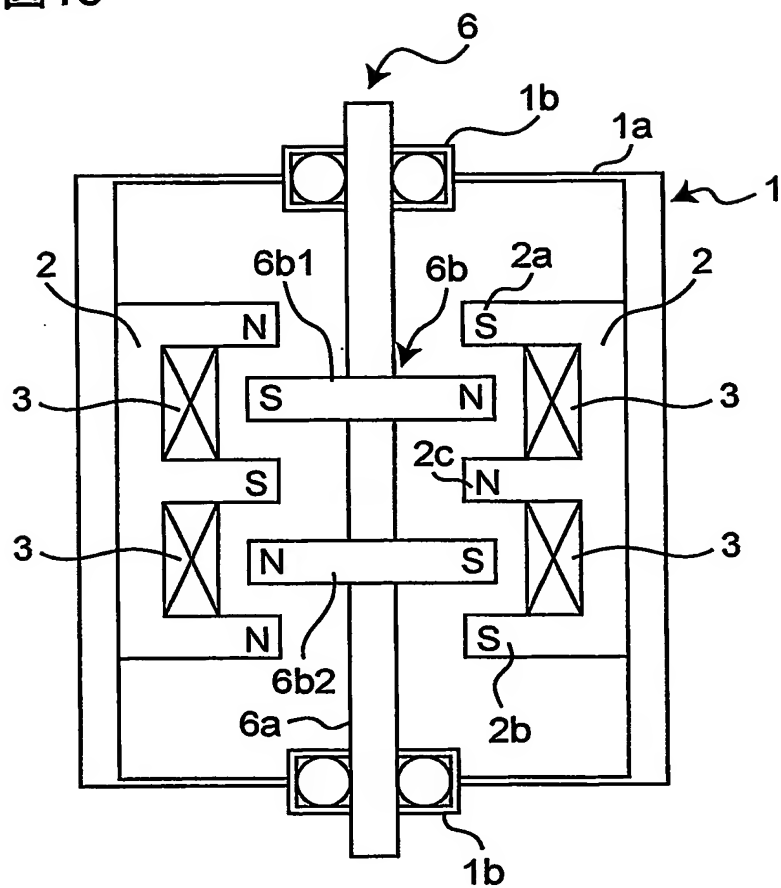


図13



12/27

図14

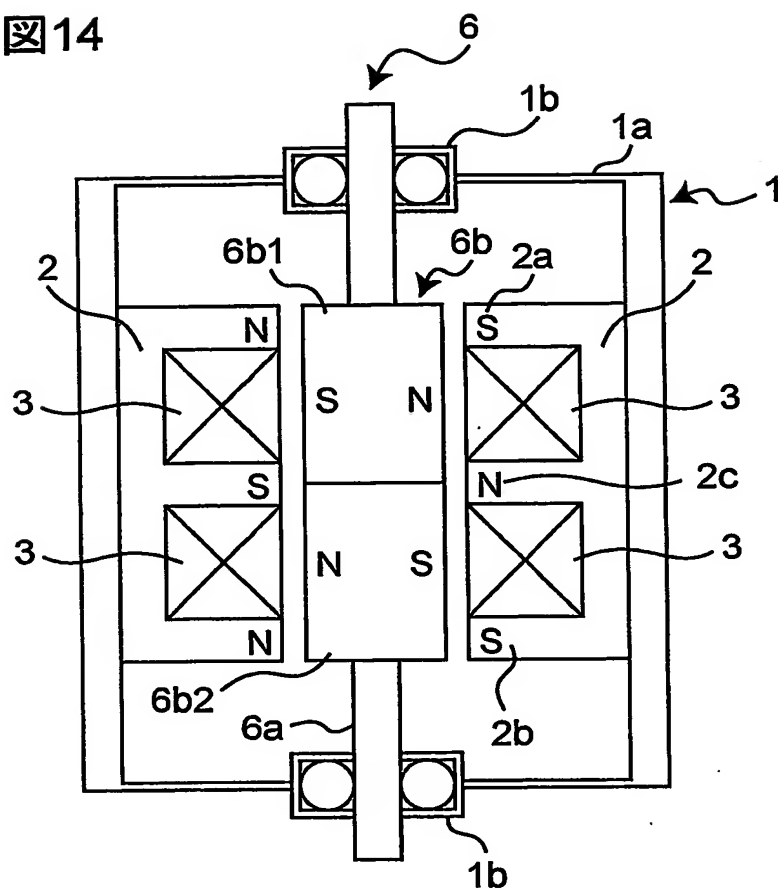


図15

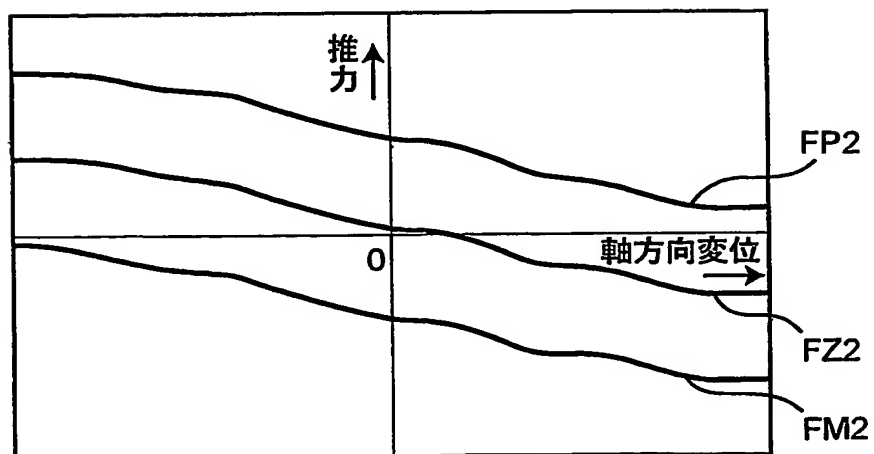


图16

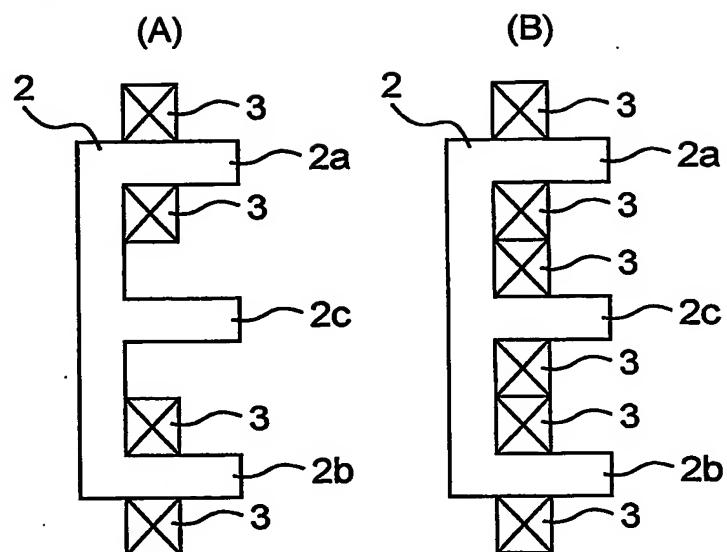


图17

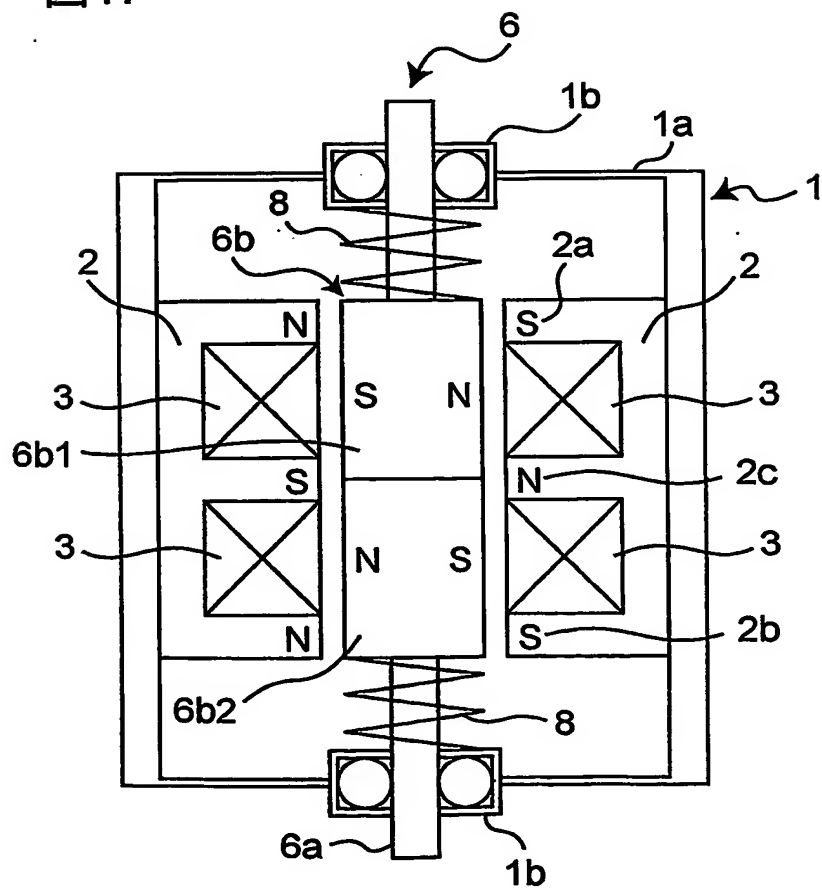


图 18

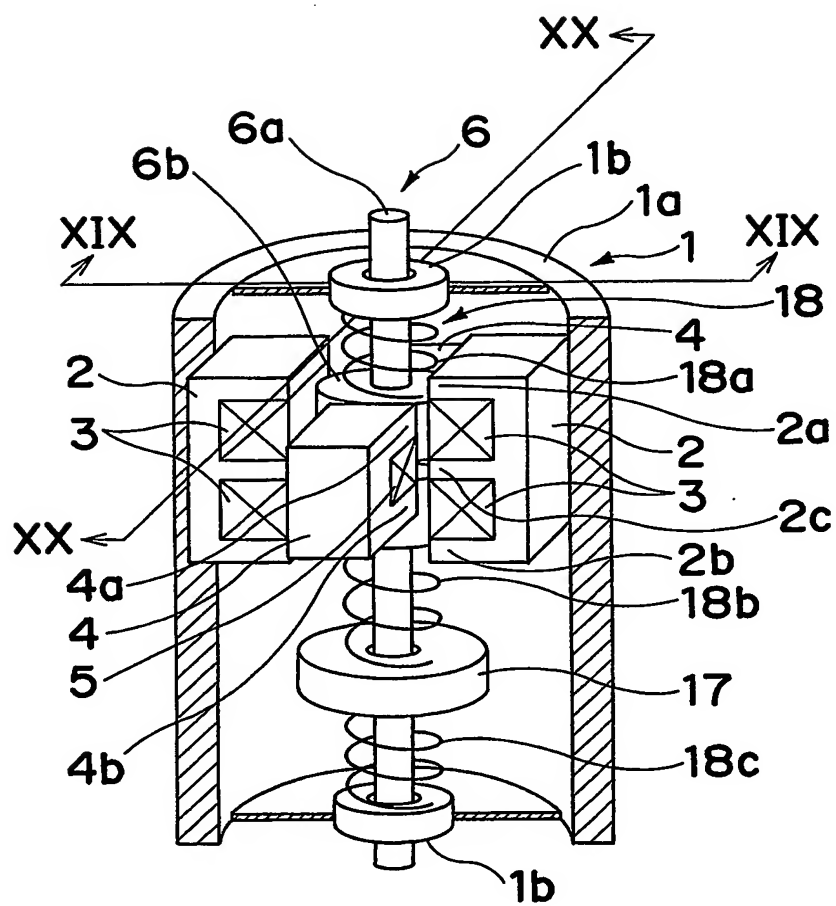


图 19

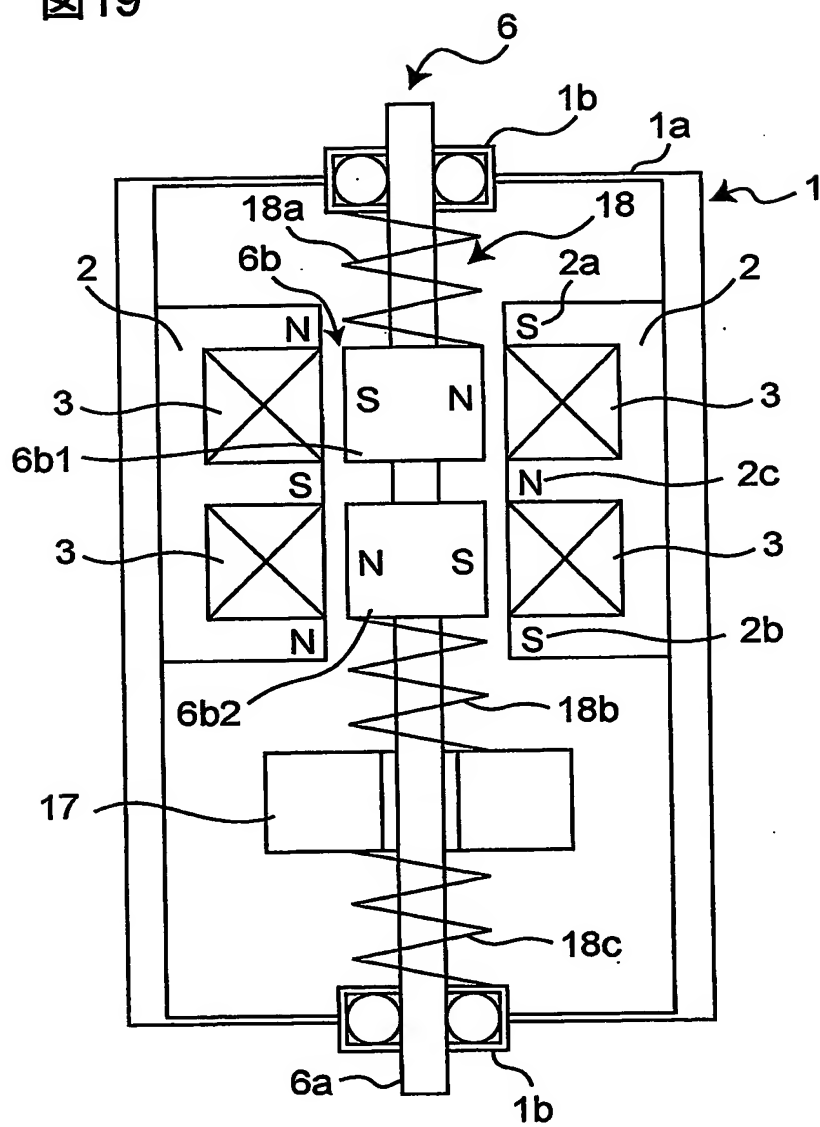


図20

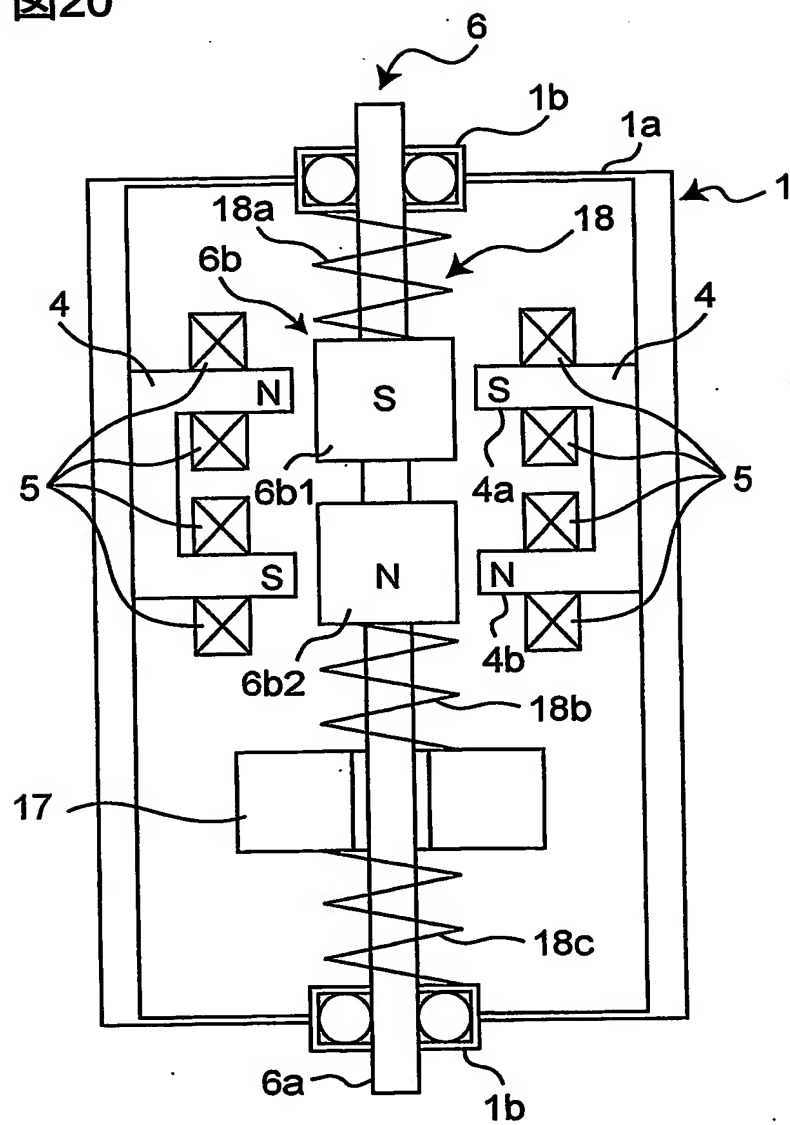


图21

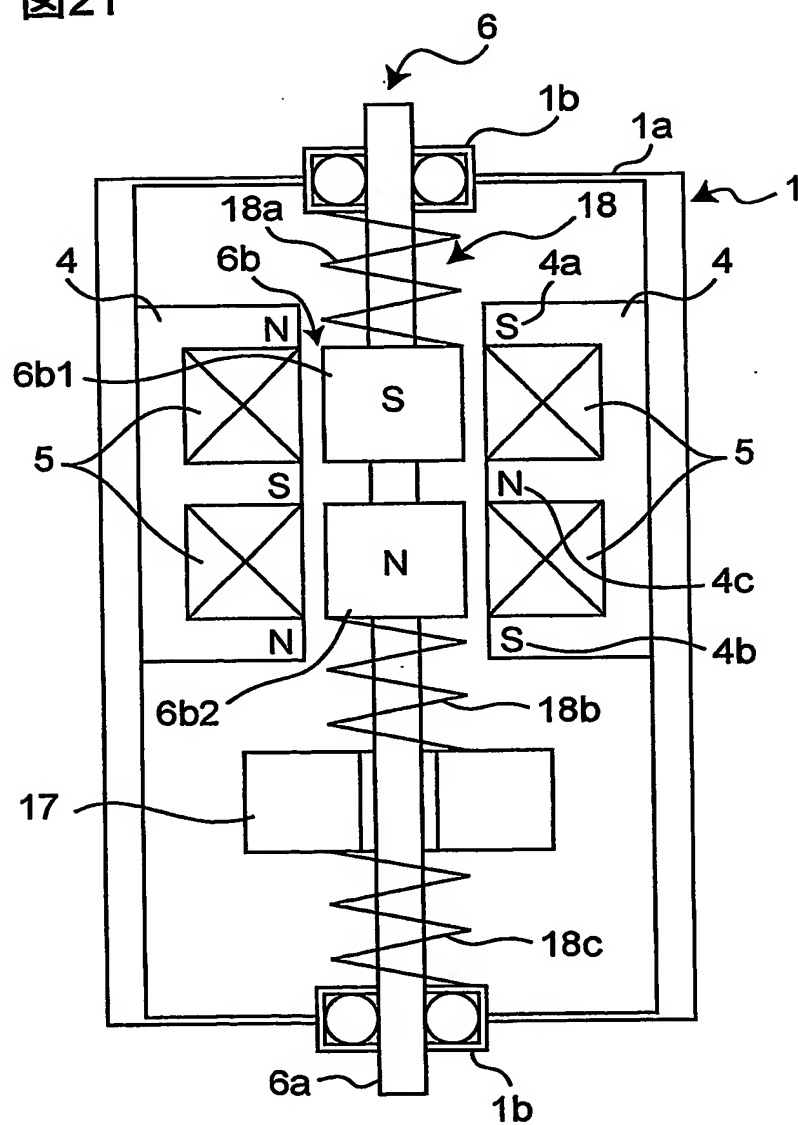


図23

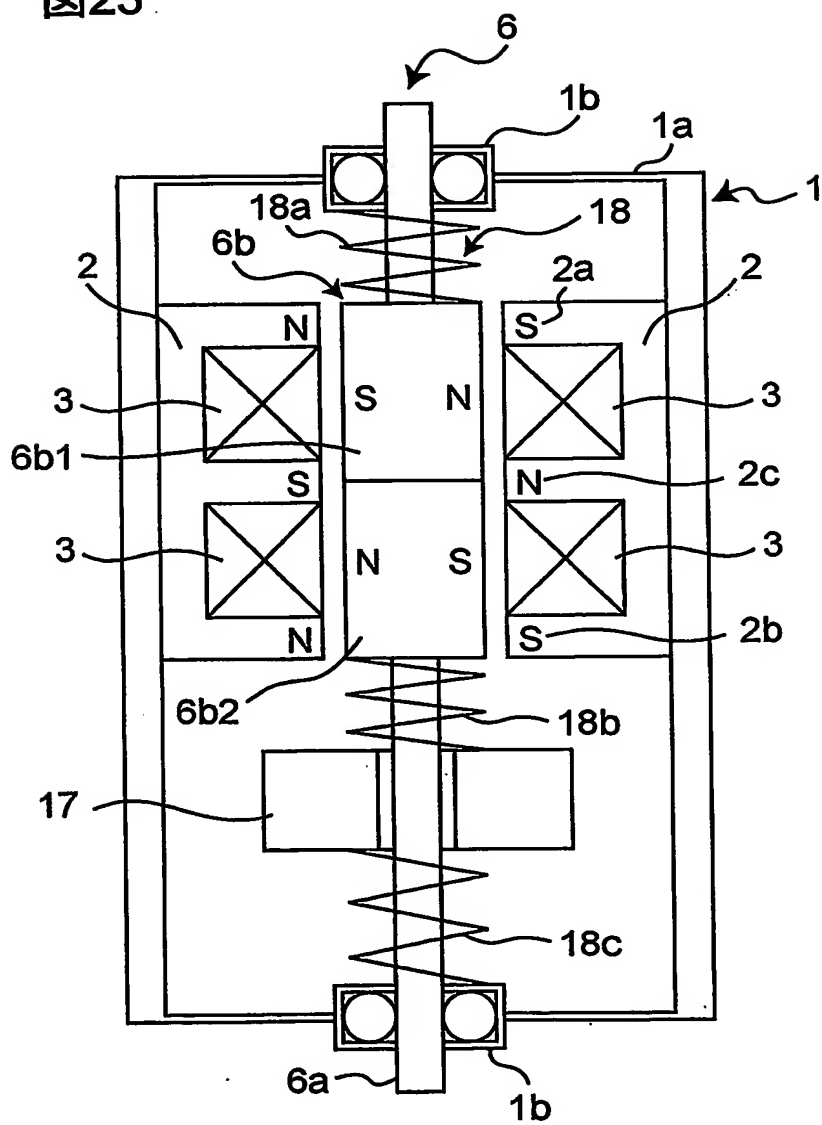
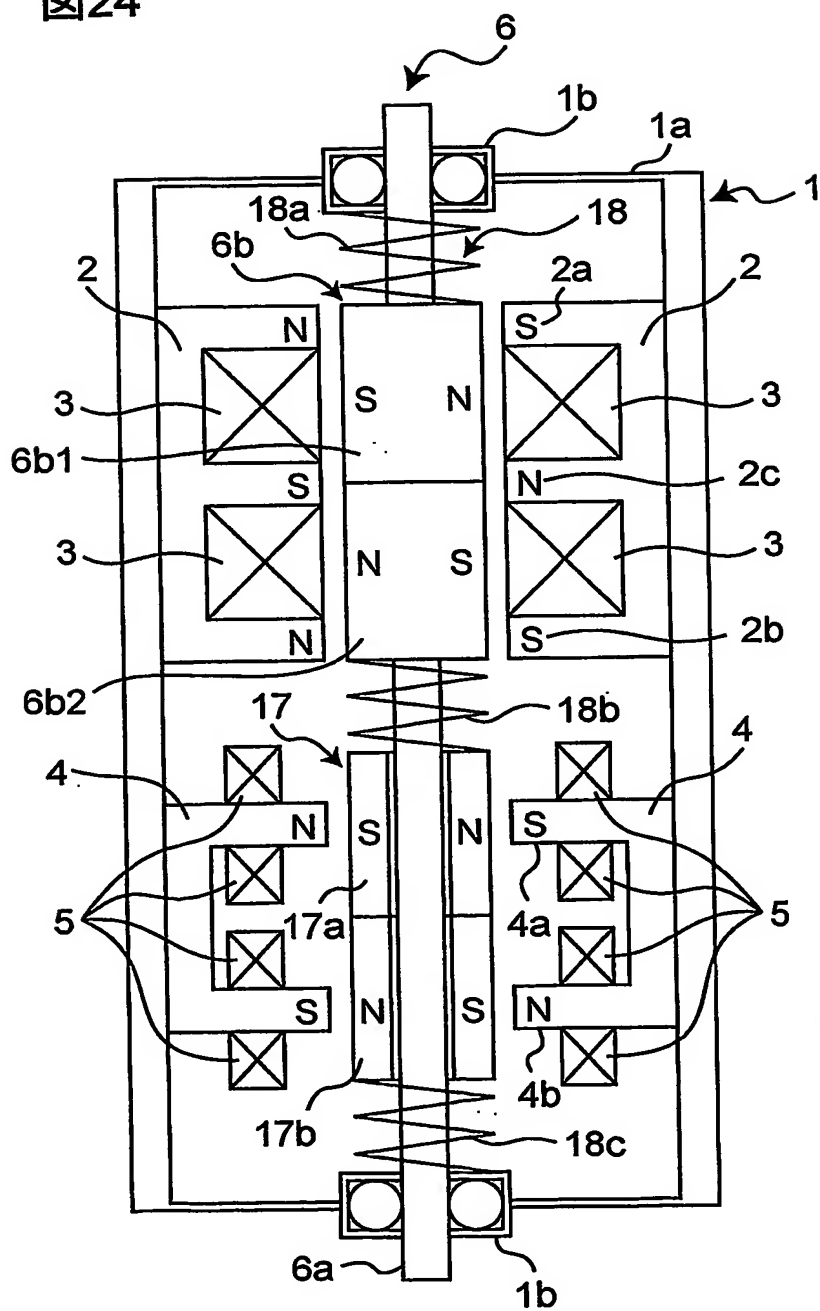


図24



21/27

图 25

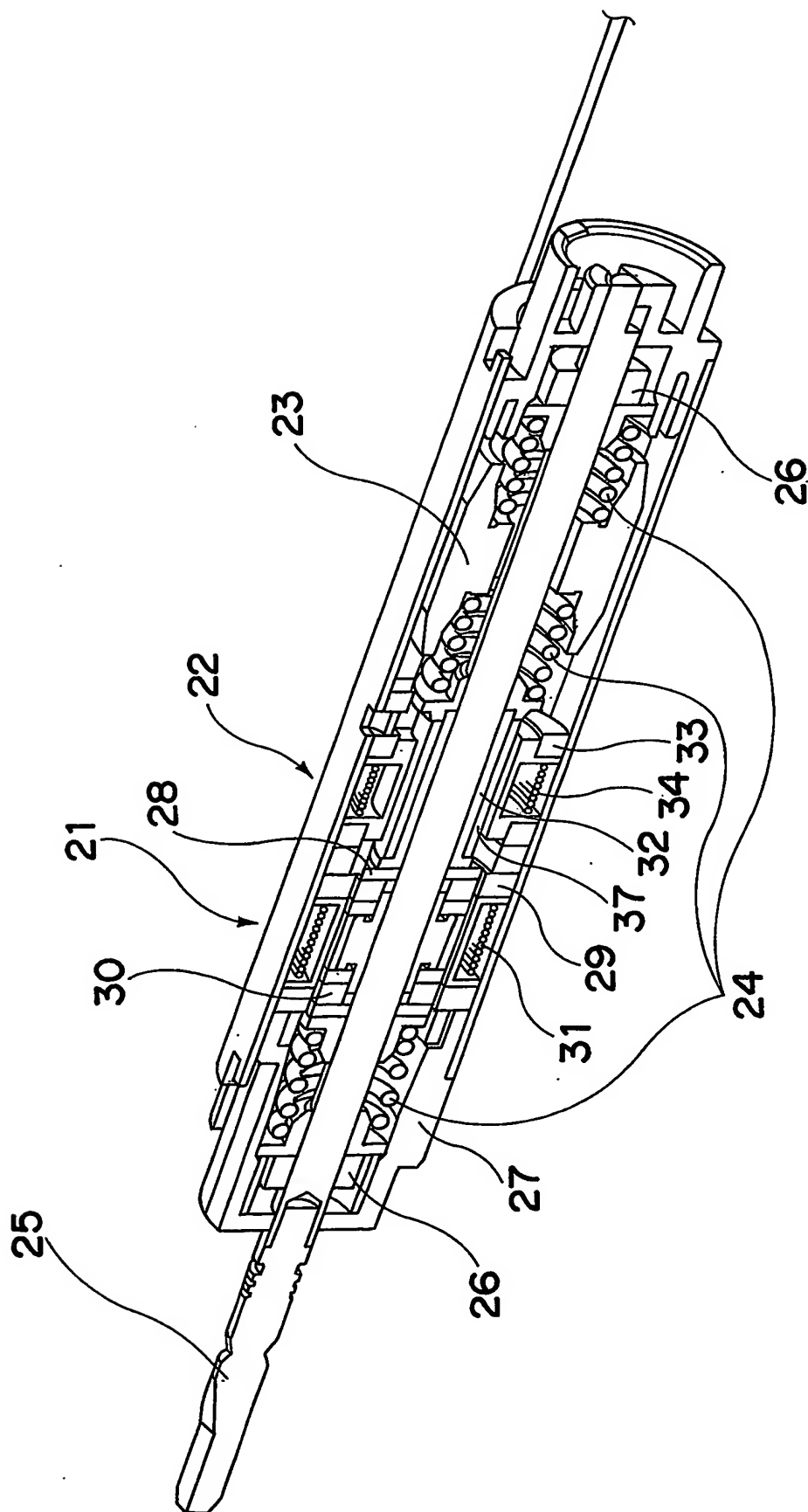


図26

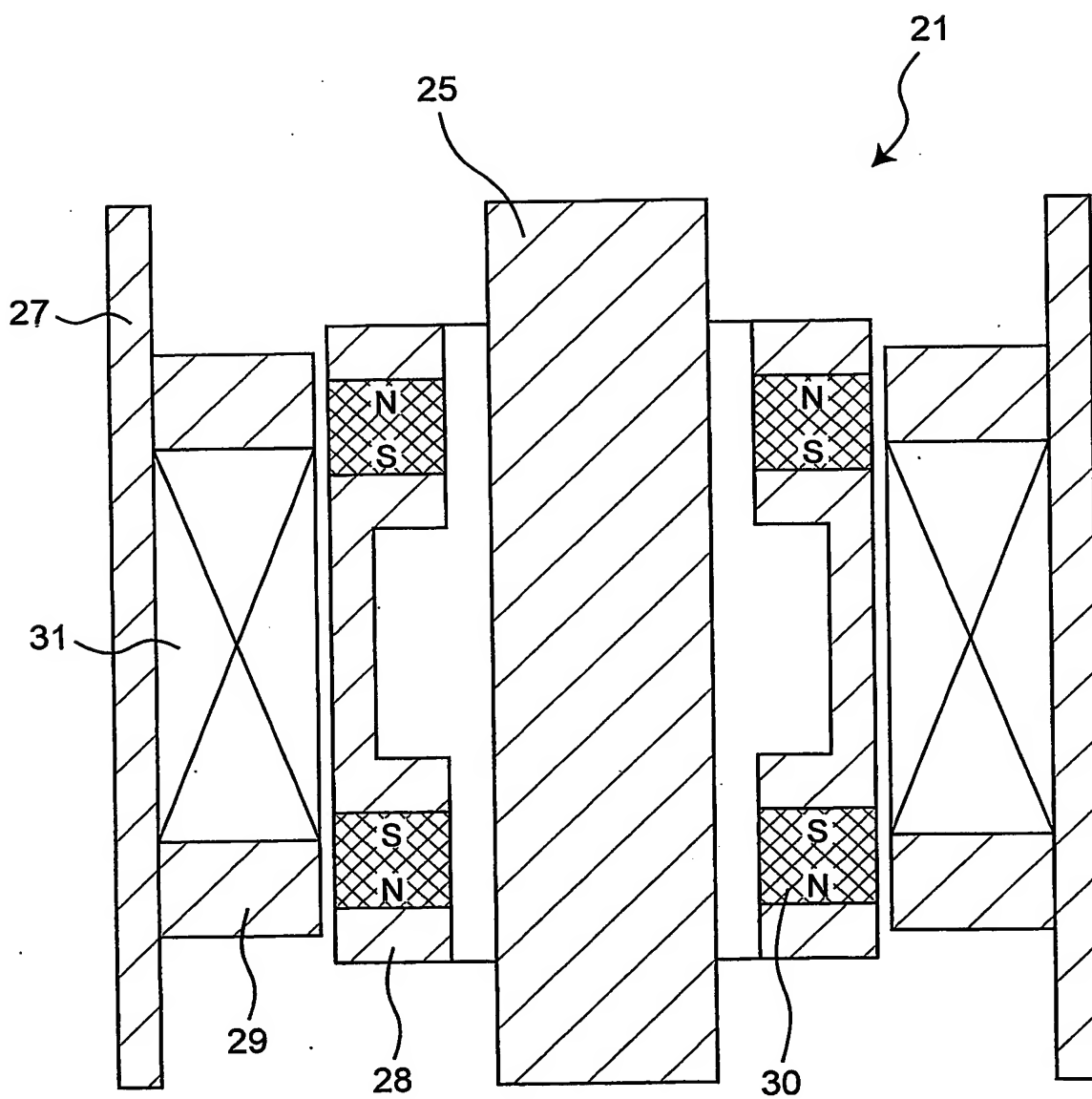
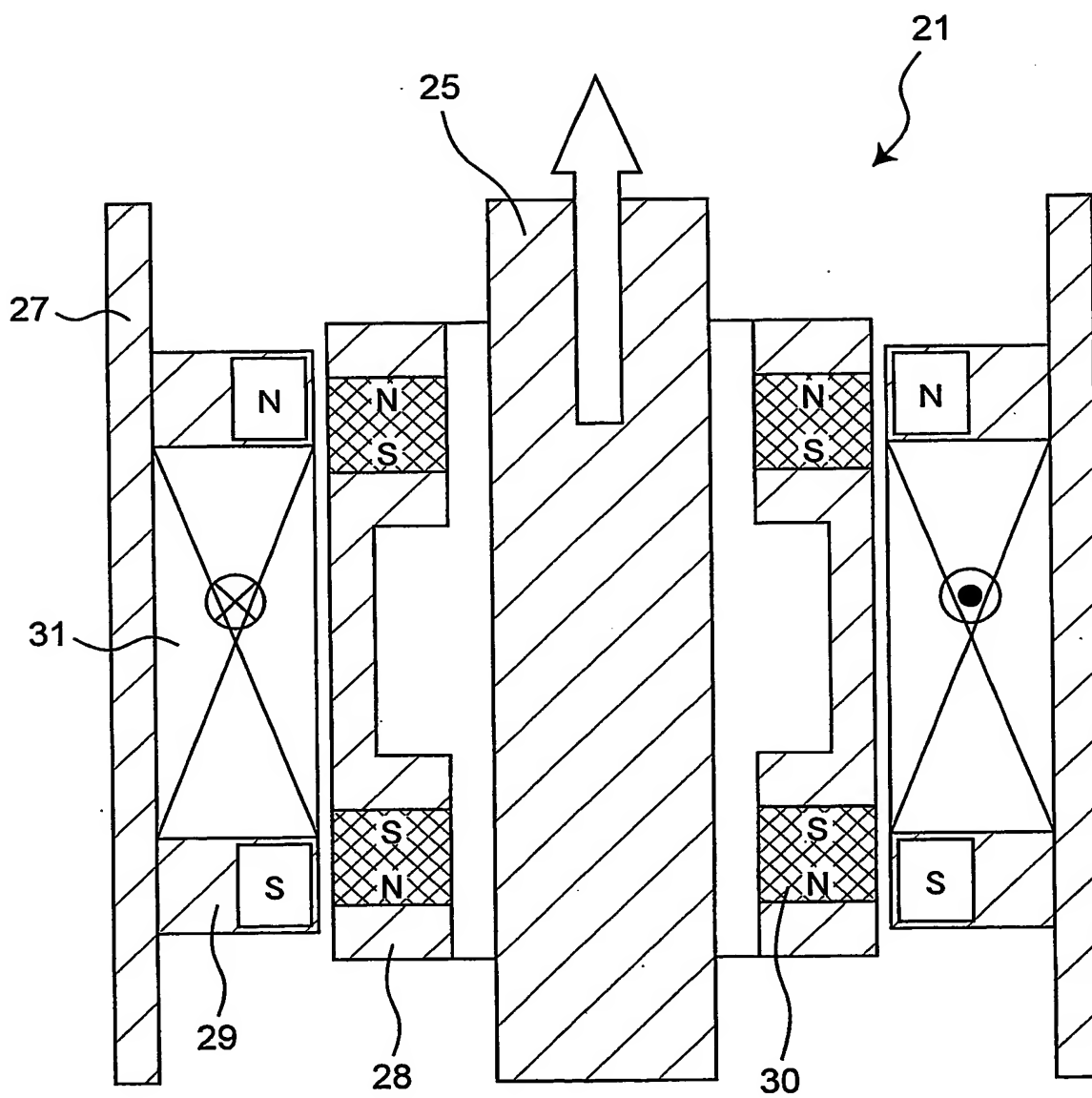
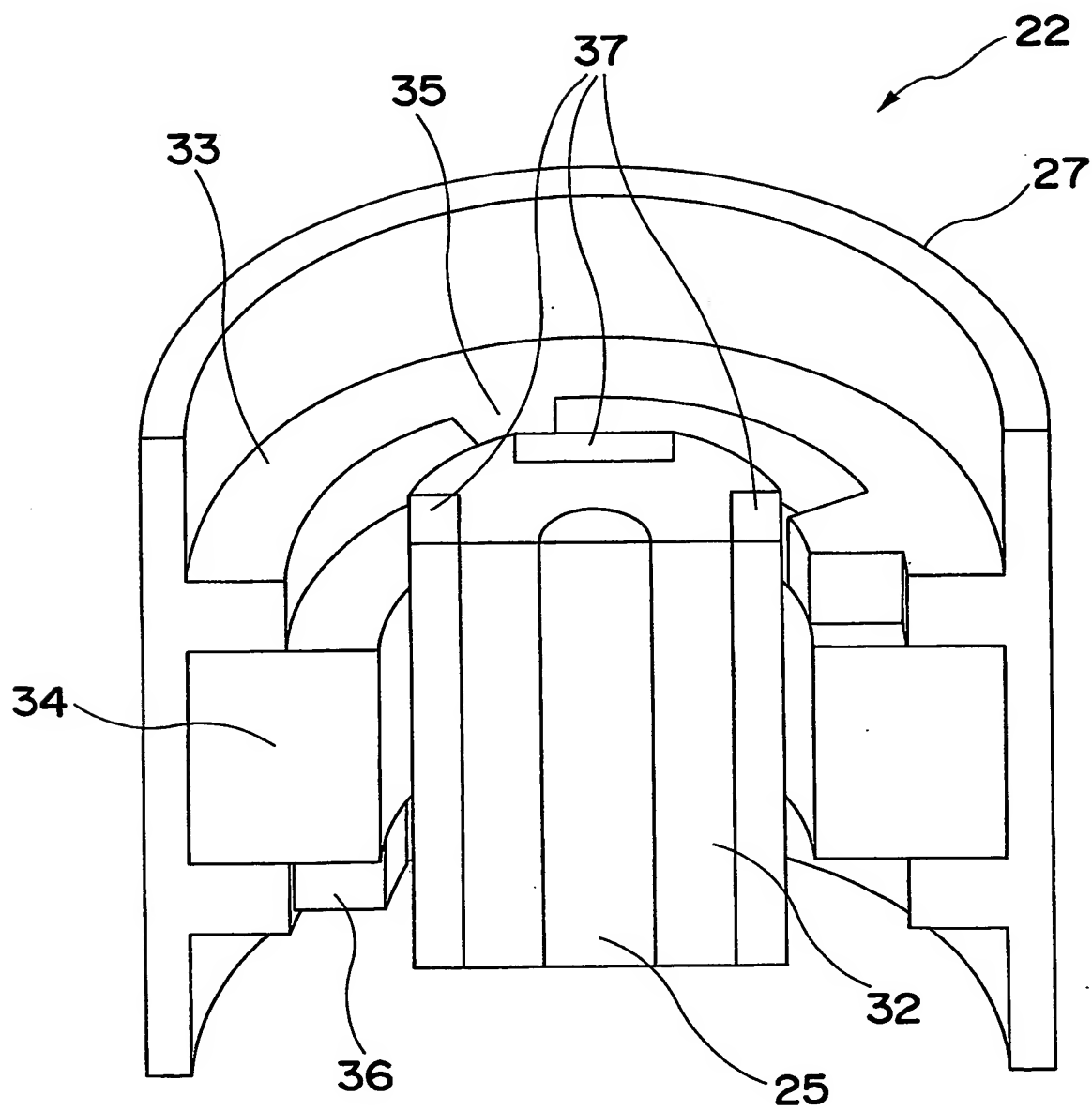


图27



24/27

28



25/27

図 29

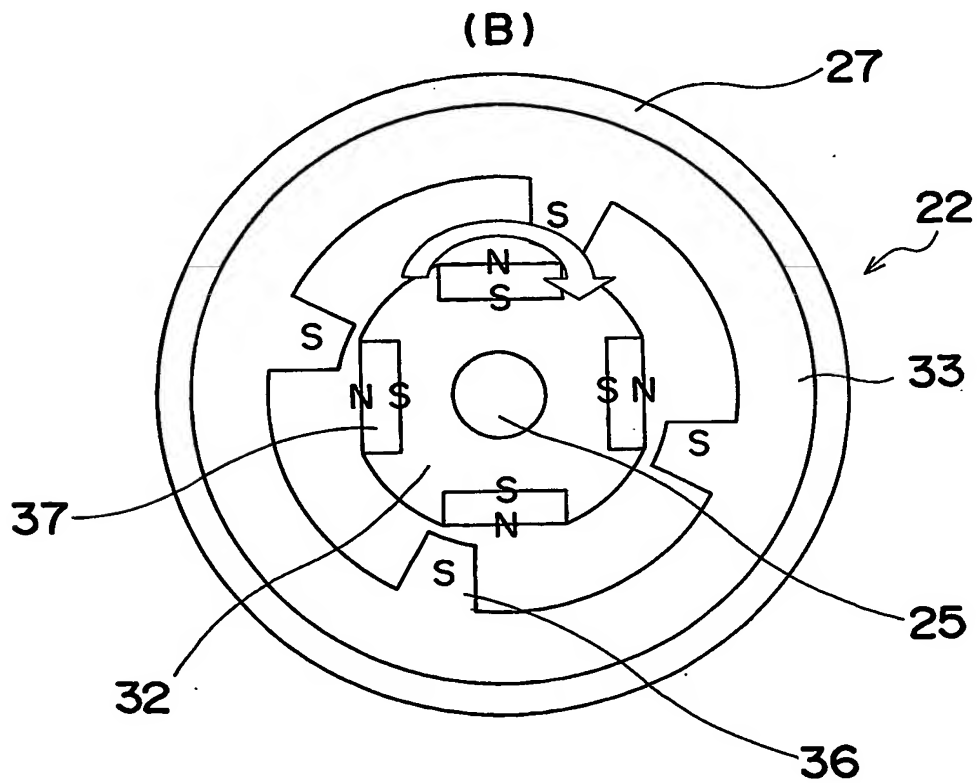
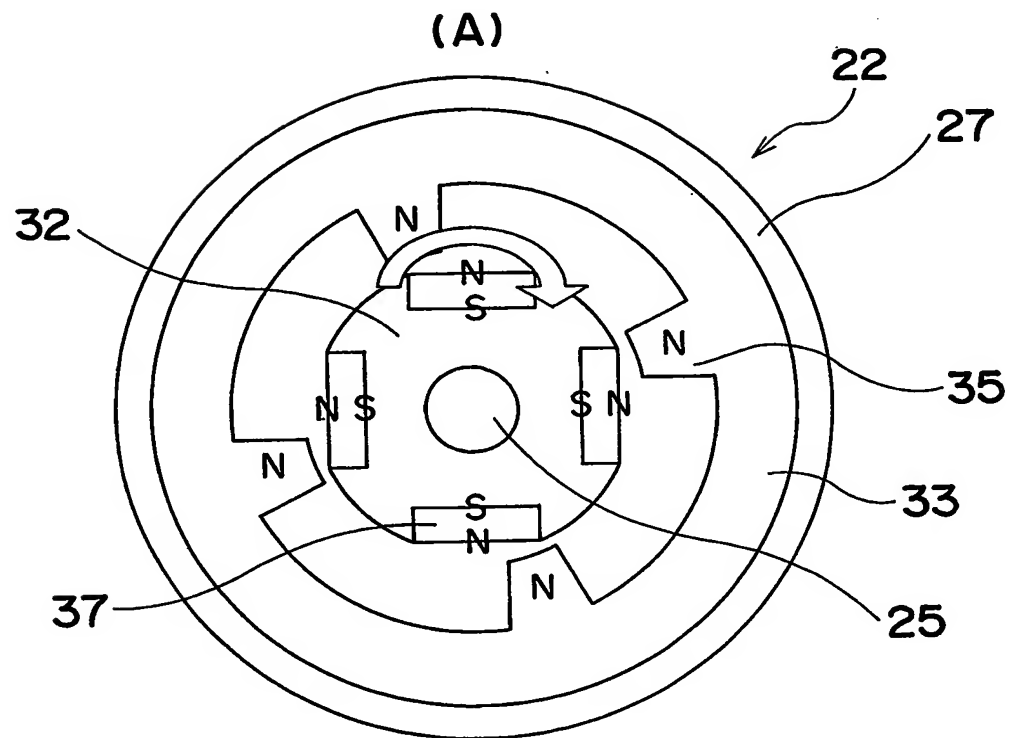


図 30

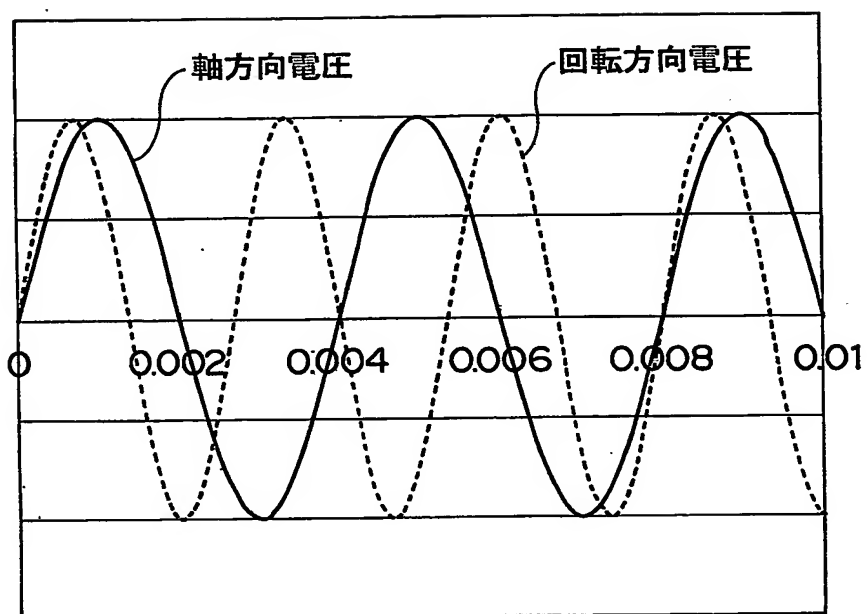


図31

